TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 198-Janeiro-1950

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Oficina e Laboratórios

do

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDES, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTECNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA-ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público.

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
198
Janeiro — 1950

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N./ TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ
ADMINISTRADOR
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ
SECRETÁRIO
MANUEL MARQUES MAIA
BIBLIOTECÁRIA
MARIA HELENA PORTUGAL DA SILVEIRA
CORPO REDACTORIAL
ARMANDO COUTINHO DE LENCASTRE
JÚLIO FERREIRA LOPES
MARGELINO ABREU COSTA
HENRIQUE CANOLES PEREIRA

NÚMERO AVULSO 9$00
ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

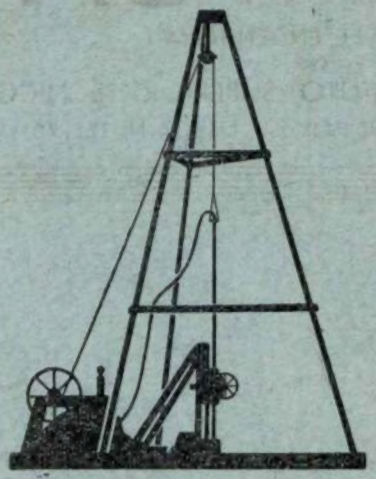
SUMÁRIO

CAPA — Locomotiva Diesel-Eléctrica em serviço na C. P.

		Págs.
Aspectos actuais da formação do engenheiro	Eng.º A. Herculano de Carvalho	803
Medição das escavações efectuadas na fundação da barragem do Pego do Altar e dos volumes de enrocamento nela colocados	Eng.º Armando da Palma Carlos	815
Decantação. Destilação. Condensação	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	824
A Mecânica do Solo e as suas aplicações	Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos	843
Processos unitários da química orgânica — Polimerização	Eng.º Manuel Chagas Roquette	859
Do Engenheiro e sua definição		868
VI Exposição de Fotografia do I. S. T.		869
Do Mundo Técnico		871
Biblioteca		874

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

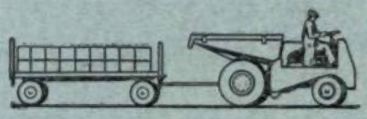
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

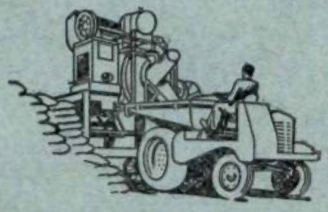
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

TÉCNICA

JOSÉ MARIA AVILLEZ
DIRECTOR

ANO XXVI - N.º 198 JANEIRO 1950

Aspectos actuais da formação do engenheiro

PELO ENG.º A. HERCULANO DE CARVALHO
Prof. do I. S. T.

Oração de Sapientia proferida na inauguração solene do ano lectivo da Universidade Técnica de Lisboa.

C. D. 378.12

Chamado a cumprir o dever de pronunciar, nesta sessão de abertura da Universidade Técnica, a oração que tradicionalmente se apelida «de sapientia», tenho de começar desculpando-me por não ir corresponder à responsabilidade do epíteto.

Poderia certamente ocupar-me de qualquer coisa que realmente eu soubesse como, por exemplo, das últimas características da evolução das disciplinas que professo e suas relações com outras ciências ou com a indústria. Pensei, porém, que antes conviria sacrificar o prestígio pessoal do orador à maior generalidade e utilidade do assunto. E assim, limitar-me-ei a pôr em foco certos aspectos, que me parecem de importância, referentes à formação a conferir pela escola aos futuros engenheiros, neste inquieto momento do mundo e quando em Portugal se lhes vai exigir a colaboração numa obra de ressurgimento industrial que se deseja perdurável. São tópicos apenas que ofereço à reflexão dos que me ouvem, visto que, da minha parte, pouco poderei afirmar que não admita contradição.

Consola-me a ideia de que também é ciência, no mais lato sentido, o reconhecimento do que se ignora.

E de antemão, com humildade me resigno a comentário igual ao daquele lente de Coimbra, que, como reza a tradição, ao sair duma abertura solene em que discursára um dos seus pares, confessava que em sua opinião «não conseguira o orador revelar sapiência, mas grande paciência haviam revelado os ouvintes».

Farei no entanto o que estiver em meus fracos dotes para não descer muito do nível que ilustres colegas meus, em anos anteriores, souberam atingir em actos tais.

I

O emprego do método experimental nas ciências, se bem que tentado isoladamente por alguns percursores, pode dizer-se que só foi adoptado sistemàticamente a partir dos fins do século XVIII. A este método, aliado ao uso cada vez mais extenso da linguagem matemática, é que se deve o extraordinário avanço científico e técnico que caracteriza a nossa idade.

Quando hoje falamos em ciência, referimo-nos tàcitamente àquela que por tal via foi estruturada e assim podemos verificar que o homem tem de verdadeiro exercício desse

instrumento uns escassos duzentos anos. Espanta-nos então o progresso realizado e, dada a aceleração que ele hoje tem, parecem lícitas as mais ambiciosas esperanças nos seus efeitos.

Os maiores louros cabem à física, à qual essencialmente se devem as conquistas feitas em muitos outros ramos da ciência.

Compartilha esses louros com a química, mas esta é hoje pouco mais (e mais não será amanhã) do que um capítulo da física. E a biologia serve-se de ambas sem perder seu carácter específico.

Os progressos da matemática, que é a mais independente das ciências, medem em certo aspecto a sua utilidade pelos serviços que prestam à ciência física, assim como esta se valoriza pelo auxílio dado às demais ciências. O físico e o matemático completam-se sem se confundirem, trabalhando em colaboração cada vez mais estreita. E maravilhoso é notar que, mesmo actuando em plena liberdade, tem acontecido ao matemático ir urdindo teias de aparente fantasia de que, algum tempo depois, o físico lança mão para nelas traçar as suas melhores imagens da realidade.

II

A engenharia é na sua essência física aplicada; ciência pura e técnica vão hoje de par nas suas conquistas e dificuldades; a aceleração é a mesma, as prespectivas larguíssimas; só num ou noutro ponto haverá por vezes transitória desfasagem. Não foi assim a princípio: após alguns séculos de técnica estacionária, quase sem relação com a ciência teórica, esta tomou grande avanço e só no princípio deste século as duas começaram a par. Não é certo que esta harmonia se mantenha de futuro.

Mas o progresso paralelo e vertiginoso da ciência e da técnica é a realidade dominante do mundo contemporâneo e a ele poderíamos com propriedade aplicar o aposto do poeta: «maravilha fatal da nossa idade» ... Como todos os movimentos irresistíveis e velozes ele causa profundos desiquilíbrios e é sem dúvida responsável de certos aspectos da crise actual do mundo.

Por isso certos homens, atónitos, acham que deve contrariar-se a corrente e entram de amaldiçoar a ciência e de proclamar as malfeitorias do progresso técnico.

A atitude é, além de inútil, precipitada e injusta.

III

Primeiro, porque o progresso técnico, tendo na sua base a evolução da ciência, vem rico dos mais belos tesouros do espírito humano.

Depois, porque os benefícios que tem trazido assinalam no seu activo um grande saldo a bem da humanidade.

Bastaria recordar os maravilhosos avanços da medicina.

Mas fiquemos no nosso campo e atenda-se, ao acaso, a alguns factos concretos, que as estatísticas apontam.

Até aos princípios do século passado, o tempo necessário para obter 1 quintal de trigo debulhado regulava por 3 horas. Em 1945, empregando a máquina mais aperfeiçoada e entrando em linha de conta com a quota parte do tempo de construção da máquina, esse período reduziu-se para 10 minutos!

O poder de compra, em relação ao trigo, do agricultor americano subiu assim, calcula-se, de 1 para 20.

O rendimento de trabalho no campo aumentou nos E. U., nos últimos 75 anos, cerca de 5 vezes e em relação aos últimos 38 anos, duplicou.

Na indústria de fiação o progresso, de 1919 a 1936, cifra-se em aumento de rendimento de 60 % e ainda é maior noutros sectores.

A economia da mão de obra é apanágio da indústria moderna. Calcula-se, por exemplo, que para produzir uma determinada unidade na indústria de construção de carruagens de caminhos de ferro eram necessários, em 1899, 21 operários e apenas 5 em 1939. Na indústria açucareira passou-se de 42 para 18 e na moagem de 37 para 20. Na grande indústria química a economia de mão de obra é ainda mais acentuada.

A elevação do nível da vida conseguida em 150 anos pode avaliar-se sabendo que nos países mais progressivos o consumo alimentar médio duplicou e quase centuplicou o dos produtos manufacturados.

É caso para preguntarmos, lembrando-nos apenas do simultâneo aumento da população, qual seria o estado actual do mundo se não tivesse havido esse progresso técnico.

Não merecerá ele, por isso, que o absolvam dos aspectos nocivos que trouxe consigo ?

IV

Voltando ainda à base espiritual desse progresso, poderemos perguntar se não será motivo de legítima satisfação para todos os que se dedicam ao serviço da ciência ou simplesmente para aqueles que crêem na força do espírito humano, o verificarem que, no silêncio do seu laboratório ou do seu gabinete, um homem cujo poder material muitas vezes mal excede o âmbito desses pequenos espaços, pode, com uma descoberta ou uma nova concepção, fazer mudar a face do mundo, transtornando os desígnios e as conquistas da força material.

Os exemplos são numerosos e conhecidos.

Porque dois físico-químicos em certa altura discutiram o valor da constante de integração duma equação de equilíbrio, em poucos anos se dispersou para longe dos jazigos de nitrato natural o centro de produção dos fertilizantes azotados.

Da descoberta na aparência modesta dum sábio francês, resultou que o mundo actual criou um inesperado sistema nervoso, «sem nervos», que põe em contacto instantâneo os homens de todos os continentes e mares.

Um aperfeiçoamento da técnica da chamada liquefacção dos carvões ou da sua gasificação, a invenção de processo barato de produzir hidrogénio, dum momento para o outro podem, mais que os porfiados esforços dos seus governantes, restituir à Inglaterra a sua antiga prosperidade.

A aplicação a fins pacíficos da energia atómica — utopia de ontem, mas quase uma certeza de amanhã — permitirá entre, outras coisas, a industrialização de países que, não tendo petróleo nem carvão, disponham de jazigos de urânio.

Estamos vendo todos os dias que os empreendimentos industriais mais sólidos ràpidamente podem sossobrar se uma nova invenção vier tornar antiquados os seus processos de fabrico. E não há barreiras que resistam muito tempo a tais pressões.

Este aspecto envolve sem dúvida um factor de desiquilíbrio.

V

Mas nada podendo fazer contra ele e reconhecendo que em contrapartida o progresso técnico é benéfico e inevitável, como hão-de proceder os países que, mercê de circunstâncias várias, se deixaram atrasar em relação aos outros?

Parece haver uma única solução: ganhar depressa e mesmo com sacrifício uma posição tão próxima quanto possível da vanguarda. Além dos inerentes proveitos, só assim se adquirem os meios de resistir aos novos solavancos do progresso.

Quererá isto dizer que só os países fortemente industrializados venham a poder viver no mundo de amanhã? Esperemos que não.

Cada um desses países deverá, naturalmente, graduar o número e a grandeza das indústrias a criar segundo a sua escala e possibilidades mas as que vier a ter igualarão em «qualidade» as das nações mais progressivas, e serão organizadas de forma a ter e a conservar capacidade de evolução.

Temos assim de escolher um número de indústrias vitais e possíveis, equipadas com o que se encontrar de melhor, servidas por técnicos competentes e laboratórios de investigação que as façam evoluir mantendo condições de concorrência.

Chegado a este ponto tenho de verificar que as minhas conclusões não são novas. Mas é com íntima satisfação que o reconheço, lembrando que o assunto é preocupação das mais prementes do Governo e que a Lei n.º 2:005 contém as bases para a resolução do nosso próprio problema.

A minha desculpa na insistência é a de que, no período sempre tão difícil do «desamarrar», todos os clamores são poucos para vencer a lentidão que inevitàvelmente o caracteriza.

VI

Perante a actual possição do País que vai finalmente criar novas indústrias imprescindíveis, as escolas técnicas superiores (desculpar-me-ão o referir-me especialmente à minha, que melhor conheço e tem de sentir mais próximo o problema) têm naturalmente, como dever, a adaptação do seu ensino às necessidades deste período, fornecendo profissionais não só preparados para planear, construir e dirigir, mas ainda capazes de acompanhar e promover novos progressos.

O nóvel engenheiro, uma vez adaptado ao ambiente fabril, passará a ser a melhor garantia do êxito do empreendimento. Vigilante e dedicado, corrigirá defeitos, aperfeiçoará pouco a pouco maquinismos e operações e adoptará criteriosamente as novidades que tragam evidentes benefícios.

Suponho, é claro, que não lhe prenderá os braços no que for razoável o poder «moderador» das administrações. Mas «isto é outra história», como diria Kipling, e fiquemos por agora no engenheiro.

Essa feição progressiva, a inquietação de fazer sempre mais e melhor, o inconformismo perante a rotina e o desleixo, são as mais das vezes dons naturais. Até há pouco o engenheiro que em Portugal os possuisse, poucos lugares encontraria onde lhe fosse dado revelá-los. Felizmente nalguns sectores já os tempos mudaram e em outros há sinais de melhoria.

Mas o professor terá de cultivar nos alunos essa feição quando a encontrar e provocá-la com o seu exemplo e incitamento em outros que forem susceptíveis de adquiri-la, criando em todos o entusiasmo pela obra de renovação industrial que se pretende. Pode o professor das especialidades fazê-lo sem sair do seu plano e do seu estílo, aproveitando as oportunidades para justificar, com base nas matérias que ensina, a preferência a dar a certas indústrias, comparando a nossa posição actual com a de outros países, referindo as matérias primas nacionais, suas qualidades e melhor meio de valorizá-las e ensinando com mais pormenor os assuntos que maior ligação tenham com essas indústrias. Haverá possìvelmente que rever neste sentido o programa dalgumas disciplinas da especialidade e arrumar todas convenientemente.

A selecção a fazer entre os alunos não se limitará a aprovar ou reprovar, mas os bons alunos deverão ser seleccionados por aptidões, pois não deve esquecer-se que detrás da designação de engenheiro estão hoje funções de natureza diversa. Estudar um projecto ou a instalação dum processo de fabrico, dirigir um laboratório de verificação ou de investigação, ter a seu cargo a condução duma oficina ou duma fábrica, para não falar já na

administração a que poderá ser chamado o engenheiro, são tarefas distintas que, embora consintam em comum a mesma formação, exigem aptidões diferentes e até conhecimentos específicos. Ninguém melhor que o professor se aperceberá no cedo dessas aptidões que, bem aproveitadas, se irão traduzir em rendimento óptimo do futuro engenheiro. Mesmo com a organização actual, alguma coisa a iniciativa dos mestres pode fazer com o fim desse melhor aproveitamento, seleccionando a índole dos trabalhos e mesmo individualizando os exames.

Continuo a referir-me, é claro, às especialidades e não penso neste momento no grave problema da excessiva frequência, delicada questão que sai do âmbito da minha competência.

A criação de algumas cadeiras e tempos de trabalhos práticos «de opção», possível dentro do nosso actual esquema, resolveria em parte o problema da selecção por aptidões e permitiria ir mais além no caminho da necessária especialização.

Para os estudantes mais propensos aos rigores da matemática e da física teórica haveria, simultâneamente com o alívio dalgumas matérias da especialidade, cursos de aperfeiçoamento complementares dessas disciplinas que, como fiz notar no meu introito — e agora justifico a sua apresentação, constituem as fontes das aplicações técnicas.

VII

Matemática, física, técnica são três termos duma série cujo limite é a realidade prática ou utilitária.

Ao passar dum termo para o outro perde-se em rigor e perfeição teórica o que se ganha em domínio do mundo material.

Um físico conhece exactamente as relações da sua ciência com a matemática e quais as diferenças essenciais de atitude entre elas. Mas já as relações dos dois últimos termos parecem mais difíceis de estabelecer. Pelo menos o desacordo a tal respeito é frequente e a questão torna-se crucial dentro duma escola de engenharia. Talvez porque as diferenças não sejam tão profundas na essência e apenas se traduzam na ordem de grandeza consentida nas aproximações. Mas pode dizer-se que a física contém em potencial o que a técnica virá a ter sob a forma cinética.

Por outro lado, os serviços que mùtuamente se prestam são tão grandes que desprezar uma seria desprezar a outra.

Alguns pormenores já revelados do fabrico da arma atómica na América ilustram de maneira impressionante o valor da colaboração entre físicos e engenheiros.

Vale a pena citar um desses pormenores.

Quando se chegou à conclusão de que era possível a separação dos dois isótopos de urânio por «difusão fraccionada» dos respectivos hexafluoretos, havia que projectar uma grandiosa instalação que nos mínimos pormenores correspondesse ao objectivo. Mas era a primeira vez que aquele princípio ia ter aplicações industriais. Nenhuma experiência existia, faltavam as tabelas, ábacos, ou quaisquer esquemas consagrados pela prática. Apenas havia a teoria física do fenómeno da difusão e poucos dados laboratoriais.

Mas era indispensável chegar depressa. Seleccionou-se então um grupo de físicos e foi-lhes posto o problema, que deveria resolver-se com o máximo de perfeição teórica. O projecto resultante seria executado tal e qual, correndo-se os riscos dum insucesso. Pois bem, a instalação construída nestas bases — uma das maiores unidades fabris senão a maior da indústria química actual, correspondeu ao que se desejava. A tarefa da técnica — e não foi ela menos árdua, disse depois respeito à escolha do material das membranas, das bombas de circulação (que levaram dois anos a estudar por uma firma especializada) e a um sem número de minúcias da construção e métodos de vigilância do funcionamento.

Pena é que tão malfadado destino os homens tenham dado a esse admirável conjunto de esforços, cuja descrição excede em maravilhoso as mais fantásticas histórias das Mil e Uma Noites!

Confirmada na generalidade a vantagem da referida colaboração, verifica-se no nosso caso, que os engenheiros que saiem das escolas com maior propensão para a teoria ou para a investigação e tenham sido melhor preparados para isso, terão o seu lugar nos gabinetes de estudo ou nos laboratórios de investigação, secções que são hoje inseparáveis da indústria moderna.

Mas deles se exigirá que nunca percam de vista a utilidade prática e o potencial de acção das suas tarefas.

Na «Oração de Sapientia» que, na abertura do ano académico de 1927-28, o Doutor Mira Fernandes pronunciou no Instituto Superior Técnico, discurso que é um modelo do género e onde, em síntese lapidar, se contém um verdadeiro breviário dos deveres de professores e alunos, afirma-se logo de princípio: «Realizada nesta Escola, cuja finalidade requere do nosso esforço uma tradução imediata em utilidades concretas, esta solenidade tem ainda o alto significado duma promessa: a do justo equilíbrio entre a inteligência que especula e a vontade que executa. Prestemos à verdade o culto que ela merece, porque é divina; mas que não seja apenas o culto externo da acção. O primeiro, só por si, quando não é pretenciosa retórica, raras vezes deixa de ser um vaidoso egoísmo ou uma inconfessável cobardia. O segundo, isolado, não é culto; é apenas liturgia inconsciente, com os seus laivos de fanatismo».

Não se encontrará mais perfeito e conciso enunciado do objectivo a atingir pelas escolas técnicas superiores na formação dos seus diplomados: «o justo equilíbrio entre a inteligência que especula e a vontade que executa».

E verifica-se que tal equilíbrio é compatível com tendências individuais mais acentuadas num sentido ou noutro.

A par da categoria de alunos a que aludi, há pelo contrário outros e mais numerosos que se inclinam para a aplicação prática das matérias e mais se interessam por aprendê-las quando essa ligação com a prática lhe for mostrada.

Ainda aqui a existência de cadeiras de opção permitiria melhor aproveitamento destes alunos, que não iriam procurar os complementos teóricos mas podiam substituí-los por matérias de maior especialização ou mesmo por estágios. E seria possível até reduzir a actual extensão do aspecto informativo de certas disciplinas. Não se perderia de vista que a diferenciação com base nas aptidões individuais não implica o abandono duma formação geral comum a todos os engenheiros e se olharmos à presente organização dos programas vê-se que a questão qualitativamente está bem posta.

Haverá porém que revê-la em melhores termos quantitativos, atendendo-se então à possibilidade de alívio dos horários que parecem demasiadamente densos actualmente.

Creio, a este propósito, que há um defeito a corrigir em cada um de nós, professores, maiores responsáveis de tal densidade. A tendência é geralmente para considerar a disciplina que ensinamos como a mais importante e para ampliar as matérias expostas, congestionando ou mesmo estendendo a novos tempos lectivos a sua exposição.

Com relutância fazemos o inverso: limitar matéria sacrificando, como devia ser, o acessório ao essencial. Ora parece que nesta destrinça e sua comunicação ao espírito dos alunos está uma das maiores virtudes do mestre.

Este, na especialidade sobretudo, não perderá o ensejo de contribuir para manter esse equilíbrio entre a especulação e a acção, mostrando, por exemplo, como à teoria pura se vão tirar as bases para as aplicações. E ao fazer as inevitáveis concessões para aproximar aquela das realidades técnicas, mostrará como tais concessões, genuínos «actos de humildade», vão ter o seu prémio na excelência da acção; que eles não significam desprezo pela teoria nem desprestígio da técnica, mas apenas imperiosa necessidade; e que quanto

mais perfeita e completa a teoria se tornar, fonte mais fecunda será de novas e melhores aplicações.

VIII

Dois aspectos ainda não serão descurados pelo mestre: a criação e o desenvolvimento da capacidade do aluno estudar por si e o gosto pelo trabalho de colaboração. Não há antagonismo nas duas tarefas que antes são complementares.

Temos de reconhecer os grandes benefícios e a necessidade cada vez maior do trabalho em comum dos técnicos e mesmo dos cientistas e a vantagem dos colóquios, conferências, comissões de estudo, etc., mas nenhuma dessas fórmulas dispensa o esforço individual de reflexão e concentração, em ambiente de sossego e de isolamento.

Alguma coisa de importante terá feito a escola donde os diplomados saiam com o amor e o hábito do estudo e a capacidade de praticá-lo com eficiência. E quando forem chamados para cooperar com outros devem fazê-lo com a decidida vontade de serem úteis na inteira medida das suas forças.

Tenho em mente a obra de reconstrução económica do nosso país no sector industrial: quantas dificuldades e obstáculos!

Falta quase por completo a tradição da grande indústria, rodeia-nos um pouco por toda a parte a incompreensão, a apatia, o cepticismo perante essa obra que representa afinal um caso de vida ou de morte para a nossa real autonomia. Como se poderá vencer, pelo menos esta fase inicial, se a isto se vierem somar as dissidências dos próprios obreiros, se eles sobrepuzerem ao interesse de contribuir para o bem comum, a acidez das suas vaidades, ambições ou egoísmos?

Competência — mantida e aperfeiçoada por sede contínua de estudar, espírito de colaboração — alimentado pelo entusiasmo de oferecer a sua quota parte de valor para a integração da pátria no concerto das nações progressivas, estas duas qualidades aparecem como as mais úteis do nóvel engenheiro português.

Virá depois o problema da perfeita coordenação dos esforços, tão importante que, sem ela, é quase inútil iniciar a obra. Mas este aspecto transcende a esfera de acção da escola. Registemos com alvoroço a promessa feita recentemente a tal propósito, no seu habitual e inconfundível estilo, pelo Senhor Presidente do Conselho.

IX

As dificuldades que se encontram ao querer transferir do espírito para a vontade dos alunos aquelas duas qualidades dispensam, por conhecidas, longos comentários.

A aversão do português em colaborar dedicadamente vem de longe e talvez se tenha atenuado nos últimos tempos.

Mas há que insistir: pela educação, na escola (por exemplo por conveniente distribuição de trabalhos nas aulas práticas); depois, se a educação não bastar, pela vigilância atenta da entidade coordenadora.

Quanto ao hábito do estudo, o qual pressupõe isolamento e pendor para a meditação, o maior inimigo é o meio exterior cujo poder «dispersivo», chamemos-lhe assim, é cada vez mais forte. O progresso técnico é sem dúvida um dos culpados: o cinema, a radiotelefonia, a rapidez dos meios de transporte, de uso cada vez mais acessível.

Mas as circunstâncias que hoje formam o meio exterior actuam, ainda no mesmo sentido, por outra via.

O acto de estudar exige um esforço que é por vezes muito penoso para quem começa ou se desabituou.

Ora a miragem de conseguir vencer sem esforço está hoje mais espalhada que dantes. Ortega e Gasset — que a despeito de todas as modas, continua a ser uma das

mais lúcidas e clarificadoras inteligências europeias, observou num livro célebre que as massas (a designação é sua) se julgam hoje em dia com direito a gosar, sem qualquer esforço próprio, de todas as benfeitorias do progresso, para as quais não contribuiram e que antes entesoiram os sacrifícios e canseiras das gerações precedentes.

A miragem tem, como tal, de ser desfeita no espírito dos novos.

Não há, nem provàvelmente haverá no futuro, com o desenvolvimento do progresso técnico, diminuição no valor absoluto do esforço do homem sobre a terra. Há sim melhoria de rendimento, isto é, do valor específico desse esforço em relação a certas tarefas. E há sobre tudo transferência para outros campos, finalizando no do labor intelectual.

Neste último refúgio a dura luta pela vida continuará.

A transferência traz porém consigo maior dignificação do homem, que haverá como compensação e por acréscimo, as satisfações profundas inerentes ao esforço intelectual de apreensão ou de investigação quando, por fim, consegue o seu objectivo.

Demos ensejos aos nossos alunos de experimentarem essas satisfações (há vários meios de fazê-lo) e conseguiremos certamente converter alguns dos hesitantes.

X

Mais do que nunca a atenção do professor deverá incidir sobre as aulas práticas e os trabalhos de laboratório, em certas especialidades ou nas disciplinas preparatórias que os exijam.

Julgo desnecessário insistir neste aspecto considerado unânimemente como fundamental. Aponto um único exemplo: as manipulações de física, logo no início do curso, consistindo em medidas, com diferentes graus de precisão, de grandezas simples. Saber fazer uma medição, ter plena consciência do que ela significa, está aqui a própria essência da profissão de engenheiro.

Também a necessidade de fazer investigação científica, hoje função primordial da vida das nações, é nas escolas técnicas tão evidente como o é nas Faculdades de Ciências ou de Medicina.

O professor, além de dar o seu exemplo pessoal, orientará para essa tarefa os alunos mais aptos e a todos explicará o seu valor económico, social e espiritual.

Dispenso-me de fazer mais larga referência a tão importante aspecto pois ele foi recentemente tratado, com propriedade e desenvolvidamente, em cerimónia semelhante à de hoje quando da abertura solene da Universidade de Lisboa.

Mas não quero deixar perder a oportunidade que se me oferece de celebrar um facto recente que, honrando o País, veio trazer aos nossos investigadores um grande estímulo.

Pela primeira vez foi concedido a um sábio português o prémio Nobel. Saudando deste lugar, o Professor Egas Moniz, obedeço ao impulso da minha gratidão, e, como professor, cumpro um dever. Tão expressivo acontecimento, pela sua natureza e pelo seu vulto, de projecção internacional, bem merece ter nesta cerimónia o seu justo louvor.

XI

A fazer o elogio do progresso técnico, notando como ele é a mais forte realidade do mundo moderno, longe de mim a ideia de admitir que a formação do engenheiro não deva ter outros pontos cardiais.

Um desses, ainda dentro da sua formação profissional, mas comum a todos os outros técnicos, é a preocupação do factor económico. A presença duma Escola superior de Ciências Económicas na Universidade Técnica é por isso a melhor justificação da existência desta Universidade.

A Agronomia tem fortes ligações com a Medicina Veterinária; entre certas especialidades do Instituto Superior Técnico e algumas cadeiras do Instituto Superior de Agronomia há também afinidades evidentes. Mas as três Escolas visam todas a fins de natureza económica e nesse terreno se encontram.

Ao Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras tem o Técnico ido buscar professores para as cadeiras de Contabilidade e de Economia as quais se mostraram até aqui eficientes para conferir aos engenheiros as indispensáveis noções gerais dessas matérias. As vantagens da colaboração são evidentes.

Em particular, neste momento, a questão do preço de custo dos produtos a fabricar pelas novas indústrias é de vital importância para nós perante a perspectiva duma supressão das barreiras alfandegárias, cujo uso moderado não pareceria aliás injusto. Ora as dificuldades para conseguir um preço de concorrência com as indústrias de outros países são grandes. As nossas matérias primas são muitas vezes de qualidade inferior e de onerosa extracção; grande parte da maquinaria não se fabrica em Portugal; o nosso operário não tem, para muitos casos, a especialização necessária: se bem que naturalmente dextro e inteligente, durante o período de aprendizagem dará fraco rendimento; o nosso mercado tem pequena capacidade, o que dificulta o estabelecimento de unidades industriais de maiores dimensões, condição necessária para obter um preço de custo aceitável.

Finalmente, mas à cabeça do rol, vem o problema da energia.

Um grande passo está a dar-se para solucioná-lo e num ritmo tal que confirma o haver hoje «coisas novas em Portugal».

Sòmente a questão do preço desta energia parece estar ainda numa fase de hesitação.

Esperemos, no entanto, que tudo se resolva a contento de todos e que na função, geralmente complicada, que relaciona o preço de venda com o preço de custo da energia eléctrica, possam entrar desta vez, a bem da Nação, alguns termos com o sinal negativo.

E na avaliação das nossas possibilidades industriais não esqueçamos que Portugal se projecta num vasto e rico império colonial e que, sem ele, somos um pequeno país.

XII

Duas palavras agora àcerca da especialização.

Parece que podemos e devemos ir um pouco mais além neste sentido, por exemplo, com a instituição já referida de cadeiras de opção e a criação no Instituto Superior Técnico ou na Faculdade de Engenharia do Porto de um ou outro novo curso especial, que as circunstâncias permitam e aconselhem. Mas a verdadeira especialização vem depois na vida prática e, pelo que se refere às novas indústrias, só por estágios no estrangeiro se conseguirá a tempo. Parece mesmo prudente que desde já se tomasse a iniciativa de mandar todos os anos engenheiros especializar-se de acordo com plano pré-estabelecido. O Instituto para a Alta Cultura e o interesse dos nossos industriais muito poderiam fazer para esse fim e já não é folgado o tempo de que dispomos.

XIII

Ainda a propósito de especialização, atrevo-me a abordar um aspecto um pouco à margem do meu tema mas não alheio a ele.

Em todos os ramos do saber humano e mais intensamente no das ciências técnicas a que me estou referindo, a vida moderna exige essa especialização, de dia para dia mais profunda.

Mas soam vozes, de vários lados, clamando que o especialista é um monstro ou, pelo menos, um homem deformado.

Há nesta apreciação, suponho, um mal entendido. O exagero de só conhecer um assunto e ignorar o resto é equivalente ao de se ocupar de tudo sem saber nada; num extremo, o perito inculto que se aproxima do bárbaro, no outro, o pseudo-erudito que é menos que o diletante.

O verdadeiro especialista, aquele cuja acção tem o máximo de utilidade social é, pelo contrário, alguém que, dominando um determinado ramo da ciência pura ou aplicada, está a par dos últimos conhecimentos nesse ramo e pronto a passar as fronteiras descobrindo novas coisas. Este homem tem uma cultura científica geral e interessa-se pela evolução das ciências ou técnicas, outras que não a sua; por índole própria ou porque os seus professores no ensino secundário lha souberam despertar, tem curiosidade e o gosto por outras actividades do espírito humano: arte, literatura, filosofia, por exemplo, aproveitando os seus ócios para nelas se cultivar.

Entre os especialistas de ciências físico-naturais que temos em Portugal é vulgar encontrar o homem culto que possui e alimenta essas curiosidades de espírito e, não raro mesmo, a uma ou outra se dedica, praticando-a com esmero.

O recíproco não é porém verdadeiro. O profissional de qualquer das chamadas «humanidades clássicas» ou simplesmente o homem nelas formado, por via de regra em Portugal, vive alheio ao que se passa no mundo da ciência e da técnica e este desinteresse — que chega a tomar a forma de menosprezo, vindo assim de boa parte dos nossos intelectuais, cria ambiente pouco propício à urgente tarefa de ganharmos o caminho perdido no nosso sector.

As razões profundas do facto, que representa além de tudo um anacronismo, não se descortinam fàcilmente. Pelo menos, ao percorrer os programas do ensino secundário, não se poderá, com justiça, dele culpar o legislador.

Será porque se julga ainda a ciência e a técnica como antagónicas da cultura clássica?

Mas existem hoje motivos de sobra para reinvindicar para a matemática, a físico-químico, a biologia e suas aplicações o qualificativo de «humanidades».

Sem já falar no aspecto formativo desta disciplina, repare-se como a terminologia que a matemática inventou e vem desenvolvendo, cada vez com mais fina sensibilidade ou mais lato poder de síntese, vai invadindo todas as esferas do pensamento e a própria linguagem de todos os dias. Que imagens pode criar um literato, seja ele mesmo um poeta, mais belas e impressionantes do que as representações sugeridas pelos conceitos físicos modernos do Universo ou do núcleo atómico?

Poucas biografias haverá no mundo mais opulentas de espiritualidade que a dum Pasteur, e não é fácil encontrar nas antigas epopeias o ritmo dramático que anima hoje em dia os laboratórios que estudam os novos isótopos radioactivos, tentam a cura do cancro ou buscam, num frenesim, novos anti-bióticos. Não serão «humanismo» do mais puro estas disciplinas do pensamento que assim nos guiam na procura da verdadeira natureza do espaço que nos enquadra ou na descoberta dos meios de aliviar o sofrimento do homem?

É possível que me tenha excedido na defesa desta concepção de «humanidades», que não é minha e por outros melhor tem sido defendida e que se não fosse a explicação já dada podia parecer o meter de foice em seara alheia. Em qualquer caso a intenção justificaria o apelo.

É tempo de terminar mas desejo fazê-lo com um acto de confiança no resultado final do nosso mister de formar os futuros técnicos. Vão eles ser os obreiros desse progresso cujas repercussões nos fazem, por vezes, duvidar da sua real utilidade para pessoa humana e quase temer o futuro que nos prepara. Virá trazer-nos ainda maior desacordo entre as circunstâncias do ambiente e aquilo a que um pensador português chamou «o homem de sempre»?

Passará este a ser escravo e adorador da máquina, que criou para o servir? Ganhará foros de verdade aceite essa concepção do homem-número, simples partícula elementar sem individualidade — como o electrão nas novas estatísticas, do homem puro mecanismo «desenraizado do eterno», e sem sentido, aparecendo por mero acaso dentro de tantos outros acasos infinitamente improváveis?

Recuso-me a crê-lo. E os indícios em contrário aparecem-nos de vários lados.

No livro mais recente de Fourastié (*), donde extraí alguns dados que no princípio citei, o autor — que me parece insuspeito, faz notar em certo passo:

«A máquina que por alturas de 1925 era um monstro repelente à vista, barulhento e brutal, torna-se mais delicada, mais silenciosa, mais flexível; tende mesmo a tornar-se bela, o que é um sinal da sua adaptação ao homem». E mais adiante: «A base da organização moderna do trabalho é a de oferecer a cada trabalhador a iniciativa das actividades para as quais seja dotado e de desonerá-lo das tarefas em que ele é um qualquer».

Vemos hoje, com efeito, um pouco por toda a parte, a preocupação não só de tornar a máquina agradável à vista e discreta no seu funcionamento, mas ainda de proporcionar ao operário um ambiente saudável e atraente dentro das fábricas.

Quem sabe mesmo se do actual desenvolvimento da indústria dos plásticos sintéticos (cuja produção, só na Europa, sem contar com a Rússia, se pretende triplicar até 1952), quem sabe se não resultará uma nova concepção da máquina, onde os metais se substituam por matérias plásticas adequadas, aproximando-a assim, exteriormente pelo menos, dos mecanismos biológicos?

Pelo lado do operário a evolução segue também o sentido de dignificá-lo no trabalho, crescendo sensìvelmente a percentagem dos «classificados».

Dois números servem para ilustrar a afirmação: a percentagem de trabalhadores não especializados nos E. U. passou em 100 anos de 65 para 18 %.

A própria imagem da cidade do futuro parece afastar-se profundamente do paradigma das actuais colmeias ruidosas e fumarentas que são os grandes centros industriais. A tendência que certamente as novas gerações de arquitectos irão desenvolver é para a descentralização, permitida pela expansão crescente dos transportes individuais.

A fuga dos campos para as cidades tem decerto resultados maléficos para o homem, mas aparece-nos como consequência do progresso técnico, o qual permite hoje alimentar uma população mais numerosa com menor número de braços a trabalharem a terra. Mas isto em si é um bem e não pode contrariar-se. Façamos antes com que os novos bairros populacionais das cidades tenham, tanto quanto possível, a calma e o ar puro dos campos e cada lar um jardim ou quintal onde o homem, deslocado do campo, permaneça em contacto com a terra, origem ora de incertezas ora de júbilos, mas fonte tradicional e perene de vida equilibrada.

Porque a desejaram, há já bastantes anos, com estas directrizes, devemos a nossa gratidão aos pioneiros da obra notável dos bairros económicos em Portugal.

Ainda deve estar na memória dalguns que me escutam o que nos disse em tempos o grande técnico francês, engenheiro Caquot, sobre a habitação do homem e em especial do operário. Além da descentralização a que aludi e que se favorece com a disseminação de pequenos centros de abastecimento de vária natureza, a casa, no seu interior, deverá ser estudada com vista a facilitar ao máximo as ocupações da dona da casa. O resto virá como corolário, e assim, não sòmente se atende a que o somatório das suas tarefas (quase diria «o integral», tão numerosas e miúdas elas são!) representa o elemento económico mais forte na vida dos povos, mas também se reconhece à mãe de família o seu alto valor espiritual de símbolo dessa instituição.

(*) Le Grand Espoir du Vingtième Siècle — Presses Universitaires de France — Paris 1949.

Tenhamos esperanças em que está na razão Fourastié quando, no livro já citado diz que, com bastante probabilidade, a civilização que há de saír do período transitório e angustioso em que vivemos, se aproximará, mais do que pode pensar-se, da civilização tradicional. Então se poderá plenamente reconhecer os dons que ofereceu ao homem o progresso material.

Mas para isso importa que as gerações de hoje não percam de vista que esse progresso e a própria ciência donde provém são, por sua natureza, simples grandezas escalares. Há que marcar-lhes um sentido e conservá-lo vivo, um sentido que vem daquilo que é permanente no Homem e tem raízes para além dele.

... Não vá suceder-nos como ao aprendiz de feiticeiro que por ter esquecido a palavra mágica não podia ter mão nas forças que desencadeou!

O uso indiscriminado dos poderes, material e intelectual, que a ciência conquista para a humanidade pode conduzir não só aos maiores cataclismos como às piores aberrações, inclusivé à de se negar ao próprio sábio a liberdade de crítica e de criação científica. Que este perigo mortal já se desenha no horizonte, mostra-o o apelo com que Einstein, na Academia de Ciências dos Estados Unidos da América, terminou as suas palavras de homenagem à memória de Planck: «Ao inclinar-se perante este homem, a Academia Nacional de Ciências manifesta a esperança de que o direito à livre investigação para atingir o puro conhecimento possa continuar a não nos ser cerceado».

* * *

As directrizes na formação do engenheiro que esbocei nem pretendem ser completas nem são novas; apenas o momento presente lhes empresta maior acuidade. Escolhidas como o foram, justificariam de preferência para este trabalho o título de «alguns dos nossos deveres actuais». Quase tudo o que sugeri cabe, com efeito, dentro das atribuições do professor e o que resta, por não implicar modificação profunda, pode ainda resultar da sua iniciativa.

Não falei em reforma... talvez por não me aparecer como necessária, um pouco por instintivo receio do melindroso verbo reformar, com certeza para não exceder as minhas atribuições e capacidade.

Esta nossa função de ensinar não a simplificou o progresso pois, se alguma coisa de novo ele trouxe para o exercício duma actividade cujas coordenadas fundamentais permanecem invariáveis desde há séculos, foram maiores canseiras e responsabilidades. O ritmo acelerado em que a ciência hoje progride não deixa tempo à ociosidade sem perigo de cristalização no passado. Cresceram, em número e tamanho, os nossos deveres para com os jóvens que ensinamos que, não tendo culpa da ventania soprando, estão — mais do que nós o estivemos, na iminência de perder o rumo.

Se soubermos mostrar-lhes como, em verdade, nesse imutável rumo se encontram os caminhos da Ciência de hoje e da Moral de sempre, teremos cumprido para com eles o nosso maior dever.

Medição das escavações efectuadas na fundação da Barragem do Pego do Altar e dos volumes de enrocamento nela colocados

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ARMANDO DA PALMA CARLOS

C. D. 624.1 : 626/627

1 — Importância da escolha do método a adoptar na medição

Os volumes das escavações efectuadas na zona das fundações duma barragem do tipo e da ordem de grandeza da do Pego do Altar são normalmente elevados, atingindo correntemente bastantes dezenas ou algumas centenas de milhares de metros cúbicos. Na barragem referida totalizaram 118.197 m^3.

Essas escavações não podem portanto deixar de ser trabalhos demorados, prolongando-se a sua realização, frequentemente, durante muitos meses ou alguns anos.

Elas têm de ser, em geral, medidas no final de cada mês, para efeitos de avaliação da progressão dos trabalhos e de pagamento das respectivas situações, pois é vulgar contratar-se que as facturas se refiram a esse período de tempo.

Ao saneamento das fundações segue-se a colocação do enrocamento, trabalho esse que, em virtude dos volumes que as barragens de enrocamento normalmente têm, não deixará também de demorar período apreciável. O volume de enrocamento executado em Pego do Altar foi de 371.113 m^3, acrescido ainda de 1.612 m^3 colocados em redor da galeria de drenagem.

Como as escavações para saneamento e outros fins e o enchimento do corpo da barragem se verificam na mesma zona, é de aconselhar o emprego de um mesmo método para medição dos volumes desmontados e depois dos volumes de enrocamento realizados, que também deverão ser medidos mensalmente.

O método que for escolhido para as medições terá portanto que ser aplicado todos os meses, numa área elevada e durante alguns anos, desde o princípio das escavações até à conclusão dos enrocamentos. Por exemplo, em Pego do Altar a superfície da fundação mede 19.580 m^2, sendo de 192 metros o desenvolvimento do coroamento da barragem e de 178 metros a distância, medida perpendicularmente ao eixo da barragem, entre o paramento de montante do muro corta-águas e a parede de jusante do poço de bombagem.

Da circunstância apontada resulta a importância que reveste a escolha do método a adoptar para medição das escavações e volumes de enrocamento efectuados na zona da barragem, o qual deve ser tão simples quanto possível, a fim de se evitar que, repetidas vezes, haja desnecessárias perdas de tempo.

O elevado número de medições a fazer motiva que um maior trabalho inicial, que facilite depois a realização dessas medições, será largamente compensado pela simplificação obtida em cada uma das medições.

Uma outra qualidade fundamental do método escolhido deve ser o seu comprovado rigor.

Este é indispensável, por exemplo, para que se possa confiar nos valores obtidos para as percentagens de vazios dos enrocamentos, as quais traduzem a qualidade do trabalho efectuado na sua execução.

Por outro lado as medições fazem-se também para determinação das quantidades de trabalho a facturar, pelo que, se não forem rigorosas, estas não serão exactas e as

importâncias pagas não serão as devidas. Compete à Administração actuar, fazendo para isso quanto estiver ao seu alcance, de forma que não sejam pagas mais unidades de trabalho que as executadas, prejudicando-se a entidade superintendente na construção, nem se deixem de pagar ao empreiteiro todas aquelas quantidades de trabalho que ele haja realizado, o que seria lesivo dos seus justos direitos.

Durante todo o período que dura a construção de uma barragem, nem sempre os resultados das medições apresentadas pelo empreiteiro à fiscalização conferirão com os das medições por esta directamente efectuadas. Nessas condições torna-se indispensável à fiscalização poder confiar nos valores que houver obtido, o que só será possível se houver usado um método cujo rigor lhe garanta um satisfatório grau de exactidão.

Foi principalmente o desejo de obter uma maior precisão que levou à modificação do método que, em Pego do Altar, primeiramente foi usado na medição das escavações, o qual está descrito no seguimento, em que se apontam também as principais críticas de que ele se afigura susceptível.

2 — Medição corrente por meio de perfis

A medição das quantidades de trabalho realizadas na zona duma barragem de enrocamentos, como doutros tipos, quer no saneamento das suas fundações, quer no enchimento do seu corpo, é normalmente efectuada com base no levantamento de perfis, umas vezes paralelos ao eixo da barragem e outras vezes perpendiculares a esse eixo.

É evidente que esses perfis poderão ter outras orientações, mas as indicadas são as mais lógicas e as correntemente usadas.

Esses perfis deverão ser levantados pela fiscalização da Obra, antes do início dos trabalhos, e deles deverão ser logo então entregues cópias ao empreiteiro, para facilitar as futuras medições e conforme determinação da legislação relativa às empreitadas.

Consideram-se preferíveis os perfis paralelos ao eixo da barragem aos perfis normais a esse eixo, tendo em atenção as razões seguintes:

1.ª — Os perfis paralelos ao eixo da barragem definem melhor os diversos acidentes do terreno que os perfis normais a esse eixo.

Com efeito, os primeiros cortam necessàriamente, ao longo das encostas, as várias plataformas que nelas possam existir durante a construção, os pontos de mudança de inclinação e outras possíveis irregularidades, enquanto que os segundos, para considerarem essas plataformas e acidentes, terão de ser levantados nos pontos em que eles se verificam, os quais mudam aliás com frequência pois a zona de execução de uma barragem mantém-se em constante transformação.

Portanto:

2.ª — No primeiro caso é mais fácil usar perfis equidistantes e sempre os mesmos, os quais poderão normalmente, para igual grau de precisão, ser algo mais distanciados do que no segundo caso, o que torna provável a redução do seu número.

3.ª — O emprego de perfis paralelos ao eixo da barragem permite que os marcos que os definem sejam sempre localizados nas encostas, superiormente ao contorno das fundações da barragem, dominando toda a zona que deles deverá ser levantada, durante todo o período em que as medições serão efectuadas. Pelo contrário, o emprego de perfis perpendiculares ao eixo da barragem obriga a que os marcos que os definem se localizem não só nas encostas mas também alguns no leito do rio, sendo necessário, para levantar os perfis, durante a construção da barragem, a partir da data em que esta atinja a cota dos marcos, vir

estacionar na zona dos trabalhos, para a transpor de um para outro lado.

Resulta daí que:

4.ª — No segundo caso há aumento do número de estações e também a leitura de maiores desníveis, pois há então que levantar a subida de um dos paramentos e depois a descida do outro.

5.ª — Nas barragens de enrocamento ou outras sujeitas a assentamentos apreciáveis, o emprego de perfis paralelos ao eixo da barragem também tem a vantagem de evitar a redução de rigor que resultaria da utilização de marcos auxiliares sujeitos aos referidos assentamentos ou outros movimentos, por ficarem localizados sobre a obra em construção, marcos esses que a utilização de perfis normais ao eixo da barragem normalmente não dispensa

6.ª — Os perfis paralelos ao eixo da barragem satisfazem melhor do que os normais à generalização da sua aplicação às diversas medições a efectuar: escavações no saneamento das fundações da barragem, no muro corta-águas, nas galerias de drenagem e de acesso, no enchimento da barragem e outras, evitando assim mais fàcilmente o recurso a várias redes de perfis.

3 — Descrição do método de medição inicialmente empregado em Pego do Altar

Em Pego do Altar, o eixo da barragem foi definido por 2 marcos de formigão, sòlidamente implantados e distanciados de 218,58 m, um situado na margem esquerda (marco E.B m.e.) e o outro situado na margem direita (marco E.B.m.d.).

Escolheu-se o emprego de perfis paralelos ao eixo da barragem, solução que, como já referi, se considera preferível.

Fixou-se a distância entre perfis em 5 metros, valor esse que já fornece apreciável exactidão.

O aumento dessa distância não seria de aconselhar por corresponder a uma redução dessa exactidão. Por sua vez, a sua diminuição também não seria conveniente, por conduzir a um número muito elevado de perfis, obrigando a um acréscimo de trabalho não compensado pela resultante elevação do grau de rigor obtido.

A distância entre perfis que foi adoptada obrigou já ao emprego de 37 perfis para medição das escavações efectuadas para saneamento das fundações da barragem.

Esses perfis foram designados com numeração crescente de montante para jusante, sendo o número 16 coincidente com o eixo da barragem.

Para medição das escavações na plataforma da central eléctrica houve que recorrer a perfis situados ainda mais para jusante, até ao número 45, implantado a 145 metros do eixo da barragem.

No terreno, cada perfil foi definido por um marco designado pela letra P seguida do número respectivo.

Esses marcos foram localizados na margem direita da ribeira, exteriormente ao contorno das fundações da barragem, ficando a constituir as origens dos correspondentes perfis, definidas por pregos neles colocados. Foram dispostos, por grupos, em alinhamentos normais ao eixo da barragem.

Esses alinhamentos de marcos foram interrompidos sempre que o impuzeram a vizinhança do limite da zona de trabalhos ou quaisquer acidentes topográficos locais, que tornassem de difícil utilização novos marcos neles colocados.

Nos perfis em que se passou de um para outro desses alinhamentos, construíram-se os marcos correspondentes a ambos, utilizando-se, desses 2 marcos de um mesmo perfil, para sua origem, aquele que para tal, em face das condições topográficas, pareceu mais indicado.

No seu conjunto, os diversos alinhamentos de marcos ficaram pois constituindo os patamares de uma escadaria, disposta, no encontro direito, exteriormente ao limite das fundações da barragem, mas relativamente próxima desse limite.

A direcção dos perfis era obtida estacio-

nando com o taqueómetro nos respectivos marcos origem, orientando para outro marco existente no mesmo alinhamento perpendicular ao eixo da barragem e apontando depois em direcção normal a essa, para o que se descrevia, com o aparelho, um ângulo horizontal de 100 ou 300 grados, conforme o marco para que se orientava estava à esquerda ou à direita daquele em que se fazia a estação.

Para levantamento dos perfis começava-se pois por se estacionar nos marcos origem, tendo-se, quase sempre, para não recorrer a ângulos verticais muito elevados, que fazer diversas estações num mesmo perfil.

Em geral essas estações eram feitas alternadamente numa e noutra das encostas, baixando a sua cota de forma gradual e servindo, cada uma delas, para levantamento da parte da encosta fronteira situada a nível não demasiadamente diferente, procurando-se assim evitar ângulos verticais excessivos.

Porém, para não multiplicar muito o número de estações, faziam-se, com frequência, das que se utilizavam, leituras de pontos observados sob ângulos, em relação à horizontal, de vinte a trinta grados.

O levantamento era efectuado pelo processo usual, com o emprego de miras taqueométricas e usando-se os taqueómetros Wild ou Zeiss existentes na Obra.

4 — Crítica do método descrito

Um inconveniente a notar no método descrito reside na forma como é obtida a direcção do perfil.

Sendo a orientação feita para marcos bastante próximos, que teòricamente deveriam estar situados num alinhamento perpendicular àquela direcção, mas que na prática dele estarão deslocados, embora ligeiramente, resultarão daí, para os pontos distantes situados na encosta fronteira, desvios ainda apreciáveis.

Outro inconveniente, o mais importante, consiste na grandeza dos erros que resultam, em consequência da inclinação das encostas — maior parte do terreno levantado —, de pequenas diferenças na leitura do número gerador.

Consideremos, por exemplo, que, no levantamento de um ponto situado num troço inclinado a 1 : 1, efectuado com um taqueómetro Zeiss, se leram um número gerador de 180 metros e um ângulo vertical de 110 grados, sendo de 5 milímetros, para mais, o erro cometido na leitura dos fios, feita na mira.

Empregando as tabelas de Cuartero obtêm-se, para esse valores g = 180 e V = 110,00, uma distância horizontal D = 175,54 m e um desnível, a descer, d = 27,81 m.

Para o mesmo ângulo vertical e um gerador g = 179,5, obtém-se D = 175,05 m e d = 27,73 m.

A diferença dos 5 milímetros na leitura da mira traduz-se pois por diferenças

D = + 0,49 m na distância horizontal

e d = — 0,08 m na cota do ponto

Dada a inclinação do terreno, a diferença real de cota, entre o ponto definido pelas leituras efectuadas no levantamento e o ponto do terreno que lhe corresponde, é, porém, de 0,57 m, como se verifica na figura n.º 1.

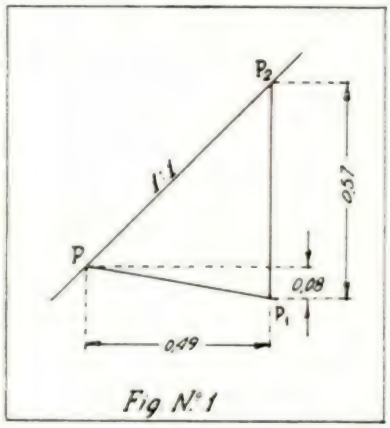


Fig N.º 1

O erro de cota será ainda dos mesmos 57 centímetros, mas em sentido contrário, se a diferença de 5 milímetros, na leitura, da mira, for não para mais mas sim para menos.

Com efeito, para g = 180,5 e V = 110,00

é D = 176,03 e d = — 27,89. As diferenças resultantes são pois

$$D = -0{,}49 \text{ m}$$
$$d = +0{,}08 \text{ m}$$

como se vê na figura n.º 2.

Para melhor precisar a grandeza dos erros cometidos, vejamos ainda 2 outros exemplos.

Seja primeiro um ponto situado num troço inclinado a 1 : 2, caso frequente nas encostas, no qual se leram g = 140 e

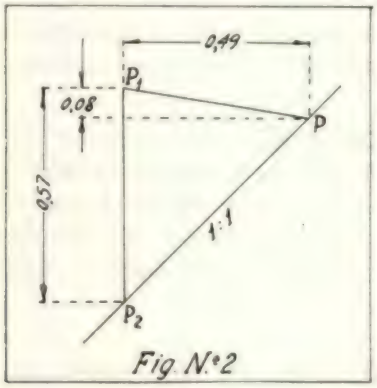


Fig. N.º 2

V = 120,00, com uma diferença de apenas 3 milímetros, para menos, na leitura da mira.

Para g = 140 é
D = 126,70 m e d = — 41,14 m

Para g = 140,3 é
D = 126,97 m e d = — 41,23 m

resultam os valores seguintes :

$$D = -0{,}27 \text{ m}$$
$$d = +0{,}09 \text{ m}$$
$$\text{erro real da cota} = 0{,}63 \text{ m}$$

conforme se observa na figura n.º 3.

Seja depois um ponto situado num troço inclinado a 1 : 1, no qual se leram g = 150 e V = 108,00, com uma diferença de 1 centímetro, também para menos, na leitura da mira.

Para g = 150 é
D = 147,60 m e d = 18,65 m

Para g = 151 é
D = 148,58 m e d = 18,77 m

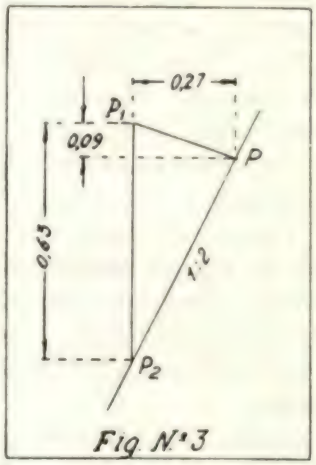


Fig. N.º 3

Resultam os valores seguintes :

$$D = -0{,}98 \text{ m}$$
$$d = +0{,}12 \text{ m}$$
$$\text{erro real da cota} = 1{,}10 \text{ m}$$

conforme se observa na figura n.º 4

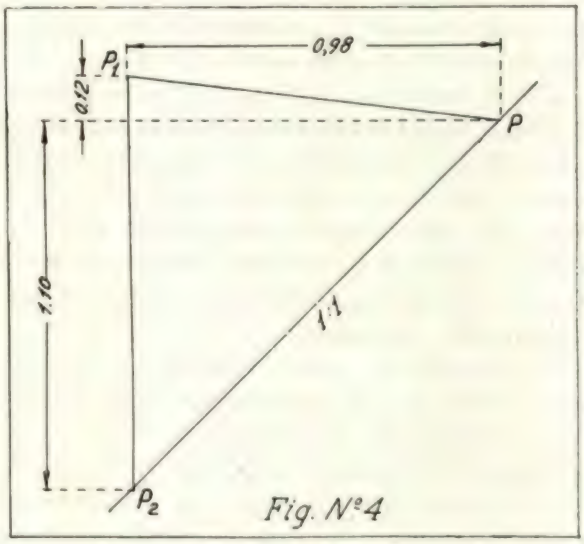


Fig. N.º 4

Os exemplos citados correspondem a casos gerais, não sendo de forma alguma casos excepcionais.

Na realidade, na leitura da mira, são de aceitar diferenças de vários milímetros, tanto mais que correntemente a sua leitura é feita apenas em centímetros.

As distâncias e os ângulos mencionados são vulgares nestes perfis, tendo-se considerado os desníveis a descer, por ser assim que quase sempre acontece, visto os perfis serem levantados a partir de marcos origem situados na sua parte superior.

Verifica-se desta forma que, mercê da inexactidão de alguns milímetros na leitura da mira, os pontos levantados vêm substituídos por outros, distando do terreno, na sua vertical, de alguns decímetros.

Se o número gerador for ligeiramente reduzido isso já será suficiente para o ponto ficar elevado, de forma apreciável, em relação ao terreno.

Pelo contrário, se o número gerador for aumentado de apenas alguns milímetros, o ponto levantado ficará enterrado em relação à superfície real do solo.

A subida ou descida do ponto em relação ao terreno, se este tiver inclinação de cerca de 45°, será sensìvelmente de tantos decímetros quantos os milímetros de diferença, para menos ou para mais, na leitura da mira.

Aumentando a inclinação do terreno o desnível resultante será ainda maior.

Considerando a grandeza da área a levantar para medição das escavações para saneamento das fundações — em Pego do Altar quase 2 hectares, conforme já se referiu — e ainda que essas escavações são realizadas numa fatia de terreno de espessura muitas vezes não muito elevada, compreende-se bem que, da adopção do método exposto, podem resultar diferenças importantes em relação às quantidades que efectivamente hajam sido efectuadas.

Na realidade, numa área de 20.000 m^2, uma altura de 10 centímetros corresponde a um volume de 2.000 m^3.

Ora, como vimos, numa encosta inclinada a 1:1, um erro de cota de 1 decímetro resulta de uma diferença na leitura da mira igual apenas a cerca de 1 milímetro.

Haverá certamente diferenças em sentido contrário mas outras serão sensìvelmente mais elevadas, resultande grande a possibilidade de se cometer um erro médio bastante apreciável.

Bastará para isso um pequeno erro de estádia ou mesmo a tendência do observador em arredondar para os centímetros, mais vezes por excesso ou mais vezes por defeito, as leituras feitas na mira, para as quais a aproximação do milímetro também não significaria grande coisa, dadas as oscilações que sempre se verificam.

Conclui-se, pois, que pequenas causas são susceptíveis de ocasionar, na quantidade medida, diferenças consideráveis, não apenas em valor absoluto mas também em relação ao total do trabalho realizado.

Daí a conveniência de procurar-se maior rigor, sendo possível, sem acréscimo de trabalho.

Na consideração desse objectivo teve-se em vista que um maior trabalho inicial, que simplificasse cada uma das medições, deveria ser largamente compensado pela maior facilidade depois obtida nessas medições.

5 — Determinação das coordenadas dos marcos que definem os diversos perfis

O trabalho realizado como base da modificação a aplicar, no método anteriormente adoptado para levantamento dos perfis, consistiu na determinação das coordenadas dos marcos que definem os diversos perfis.

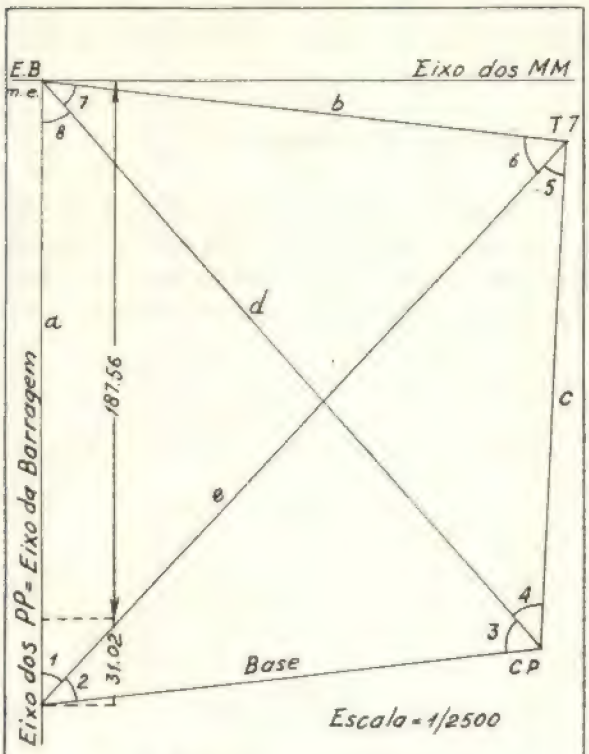
Para esse efeito começou-se por considerar um sistema de eixos ortogonais constituído pelo eixo da barragem (eixo dos PP) e pela perpendicular a esse eixo passando pelo marco E B.m.e. (eixo dos MM), que é pois a origem dos eixos (0,0).

Determinaram-se depois, como se mostra na fig. 5, as coordenadas dos vértices de um quadrilátero base, definido pelos marcos E.B.m.e., E.B.m.d., CP e T7.

A partir das coordenadas destes marcos determinaram-se, por triangulação, as de alguns outros, situados, em pontos convenientes, a montante do eixo da barragem.

Seguidamente, também por triangulação, coordenaram-se os marcos origem dos diversos perfis, tendo-se elaborado uma relação dessas coordenadas e efectuado os respecti-

vos cocientes M : P = tgα (vide fig. 6), a partir dos quais se obtiveram os ângulos α formados pelo eixo da barragem com os alinhamentos definidos pelos marcos E.B.m.e. e origem de cada um dos perfis considerados.



Ângulos compensados

N.os	Observações	Correcções	Ângulos compensadores
1	47.30.39	-1.68	47,30.37.32
2	45.09.95	-0.51	45,09.94.49
3	61.76.90	+7.53	61,76.97.53
4	48.78.59	+2.64	48,78.61.64
5	44.34.34	+12.34	44,34.46.34
6	59.97.32	- 6.96	59,97.25.04
7	46.89.66	+ 0.98	46,89.66.98
8	45.82.82	-11.34	45,82.70.66

Coordenadas

Vértices	M	P
E.B. m. e.	0,000	0,000
E.B. m. d.	0,000	+ 218,583
T7	- 181,652	+ 20,853
CP	- 173,422	+197,789

Az.te E.B.m.e. - E.B. m.d. = 0°00.00

Lados

Lado	Comprimentos (m)
Base	174,665
a	218,583
b	182,845
c	177,128
d	263,051
e	268,505

Figura N.º5

Esses ângulos α (para os perfis a jusante do eixo da barragem) ou 400 — α (para os perfis a montante desse eixo) definem os alinhamentos dos vários perfis utilizados, após ter-se orientado a zero dos respectivos marcos origem dos perfis para o marco E.B.m.e.

Com o cálculo e emprego desses ângulos melhorou-se a determinação da direcção dos perfis, em cada um dos quais, para maior comodidade, se implantou um outro marco, na encosta fronteira.

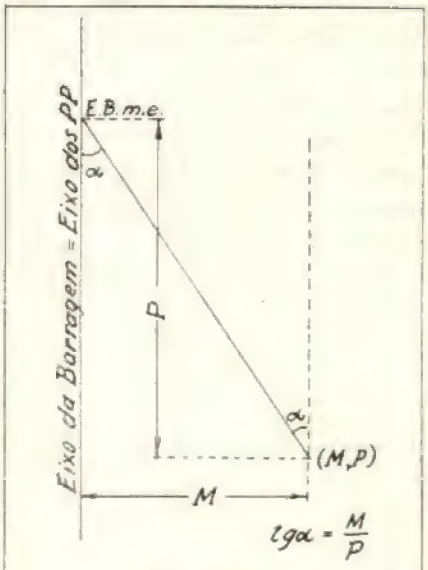


Fig. N.º6

Com os elementos assim obtidos elaborou-se um quadro referindo:

— N.º de ordem dos perfis.
— Designação dos marcos origem dos perfis.
— Coordenadas M e P desses marcos.
— Ângulos α ou 400 — α.
— Cotas dos marcos.

6 — Levantamento trigonométrico dos perfis

Designarei desta forma o método de levantamento que se passou a utilizar e seguidamente se descreve.

Para efectivação de todo o levantamento

escolhe-se um reduzido numero de estações, no máximo 3 ou 4, entre os marcos prèviamente coordenados e melhor localizados para o efeito.

O alinhamento dos vários pontos a levantar num perfil é obtido a partir dos 2 marcos implantados nesse perfil, ou seja do respectivo marco origem e do marco localizado na encosta fronteira.

Em cada um dos pontos a levantar coloca-se uma bandeirola com um cursor posto a altura igual à do aparelho com que se faz o levantamento.

Orientado o taqueómetro a zero paralelamente ao eixo da barragem, da estação escolhida lêem-se, para cada ponto, apontando ao cursor da bandeirola, os ângulos horizontal θ e vertical φ que lhe correspondem.

A distância ΔM da estação ao perfil em levantamento é conhecida, em face da prévia determinação das coordenadas dos marcos.

A distância horizontal K entra a estação e o ponto levantado (vide figura n.º 7) é

$$K = \frac{\Delta M}{\text{sen } \theta}$$

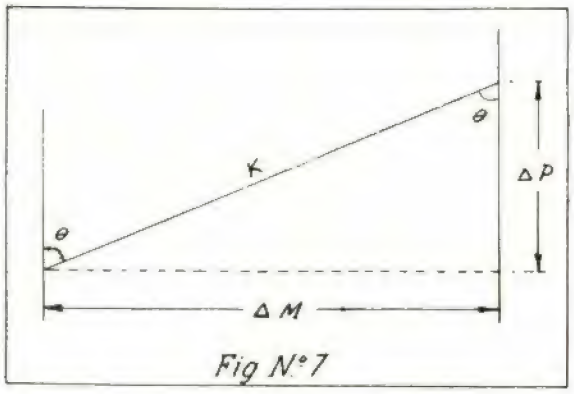


Fig N.º 7

A diferença ΔP da coordenada P do ponto em relação à da estação é

$$\Delta P = \Delta M \times \text{cotg } \theta = K \times \cos \theta$$

O desnível ΔC entre a estação e o ponto (vide figura n.º 8), é por sua vez

$$\Delta C = K \times \text{cotg } \varphi$$

A determinação dos valores de K, ΔP e ΔC é feita utilizando tabelas de senos, cosenos e cotangentes naturais e empregando, para facilitar as operações, máquinas de calcular.

7 — Análise do método

O método agora descrito obriga ao emprego de 2 operadores, pois além daquele que, das estações escolhidas, faz o levantamento, é necessário um outro que, com

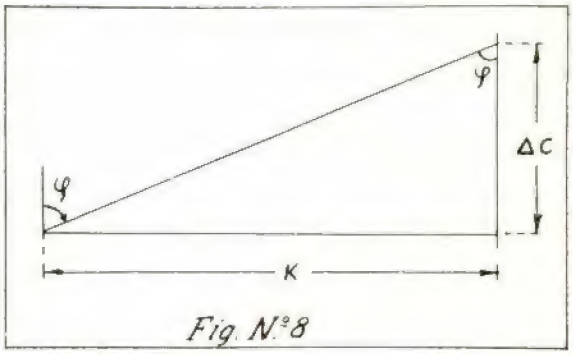


Fig. N.º 8

base nos marcos dos perfis, efective o trabalho auxiliar que consiste em dar o alinhamento dos pontos que nestes deverão ser levantados.

O número de estações a efectuar é substancialmente reduzido em virtude do levantamento ser realizado de um número diminuto de estações, o que abrevia o trabalho de campo correspondente a cada medição.

Além disso, para cada ponto levantado, há apenas que registar 2 valores, os ângulos horizontal e vertical em vez de 3, o ângulo vertical e as leituras na mira dos fios superior e inferior.

O número de operações a efectuar para cálculo de cada ponto torna-se menor passando a ser de 5, a saber:

1 — Divisão de ΔM (que é constante para todos os pontos de um mesmo perfil) por sen θ para obtenção de K.

2 — Produto de K por cos θ (ou de ΔM por cotg θ) para determinação de ΔP.

3 — Produto de K por cotg φ para cálculo de ΔC.

4 — Adição de ΔP à coordenada P da estação para obtenção da coordenada P do ponto.

5 — Adição de ΔC à cota da estação para determinação da cota do ponto.

Anteriormente as operações necessárias eram as seguintes:

1 — Cálculo do número gerador pela diferença das leituras dos fios superior e inferior.

2 — Soma dessas leituras.

3 — Divisão dessa soma por 2 para determinação da altura lida na mira.

4 — Cálculo de distância horizontal pela aplicação das tabelas de Cuartero.

5 — Adição ou subtracção dessa distância horizontal à distância de estação à origem do perfil.

6 — Cálculo do desnível pelas tabelas de Cuartero.

7 — Adição ou subtracção das alturas de mira aos desníveis, consoante estes são a descer ou a subir.

8 — Adição ou subtracção dos números obtidos por efeito da operação 7) à cota da estação acrescida da altura do instrumento.

A exclusiva utilização de bandeirolas, com dispensa do emprego de miras, é muito mais prática constituindo também uma evidente vantagem do método.

Tendo-se deixado de fazer leituras à estádia, aumentou o rigor obtido, pelo desaparecimento das diferenças daí provenientes, as quais com tanta facilidade, conforme se viu, correspondem a desníveis de vários decímetros.

Note-se que os erros resultantes de pequenas diferenças na leitura dos ângulos verticais são bem pequenos comparados com os provenientes de diferenças na leitura da mira.

Por exemplo, uma diferença de 2 minutos na leitura de um ângulo de 10 grados em relação à horizontal, corresponde, para uma distância de 120 metros, a um erro de cota de apenas 4 centímetros.

8 — Conclusão

Da realização do levantamento trigonométrico dos perfis, mensalmente efectuado em Pego do Altar conforme o método descrito, resultou a confirmação de que essa forma de proceder é afinal mais simples e também mais rigorosa, reduzindo a um mínimo os erros de cota, que, inevitáveis pequenas diferenças de leitura nas miras, elevavam fácil e frequentemente a vários decímetros.

Chegou-se a esse processo em face das exigências do serviço a realizar, tendo-se com ele melhorado o método inicialmente adoptado, quando se verificou que este não tinha um suficiente grau de rigor.

Em obras da J. A. O. H. A. agora em construção, como a barragem de Campilhas, vem sendo aplicado o método descrito, já antes seguido em Pego do Altar.

Se a descrição da forma como nesta Obra se procedeu e a própria indicação das hesitações havidas contribuírem para que, no futuro, alguém possa logo de início aperfeiçoar o sistema de medição a usar em análogas condições, considera-se que não terá sido trabalho inútil a realização desta descrição.

DECANTAÇÃO. DESTILAÇÃO. CONDENSAÇÃO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

(Continuação)

C. D. 66.04

CAPÍTULO II

REALIZAÇÃO PRÁTICA DA DESTILAÇÃO

a) *Generalidades*

A destilação pode efectuar-se por três processos:

1) Vaporização (ou condensação) integral.
2) Vaporização (ou condensação) diferencial.
3) Rectificação.

A vaporização integral consiste em vaporizar parcialmente o líquido, mantendo-o em contacto com o vapor, e fazer condensar o vapor obtido; nestas condições, a vaporização termina quando a soma das tensões de vapor dos componentes, na mistura, igualar a pressão p a que a vaporização se efectua obtendo-se duas fracções com composições diferentes: o *destilado* mais rico nos componentes mais voláteis e o *resíduo* enriquecido nos componentes menos voláteis. A partir de cada uma destas duas fracções, é possível obter destilados e resíduos cada vez mais ricos, respectivamente no componente mais volátil e no menos volátil.

Na vaporização diferencial, o vapor que se vai formando é retirado continuamente, sendo condensado a seguir; sendo assim, quando se vaporiza uma certa quantidade de líquido, o vapor tem uma composição correspondente à do líquido em cada instante.

A rectificação consiste em fazer circular parte do destilado, misturando-o com o vapor que se vai formando, de modo a enriquecê-lo nos componentes mais voláteis. A parte do destilado em circulação tem o nome de *refluxo* e a relação entre as massas do refluxo e do vapor que se condensa designa-se por *relação de refluxo* e representa-se por R. O esquema da rectificação é o que se indica na figura 18.

A alimentação da coluna de destilação faz-se um ponto intermédio; a parte situada acima designa-se por *coluna de rectificação* e a parte inferior por *coluna de esgotamento.*

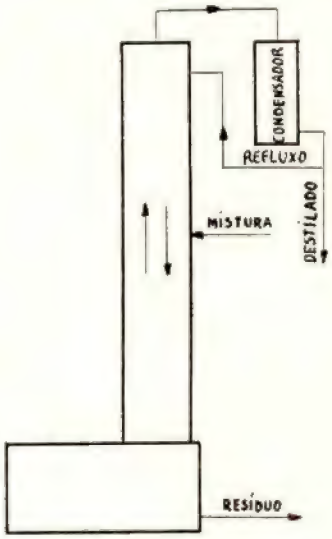


Fig. 18

A coluna de destilação é constituída por uma superfície cilíndrica na qual está montada uma série de pratos circulares igualmente afastados e nos quais o vapor está em contacto com o líquido de circulação; a localização do prato de alimentação determina-se, como veremos, a partir do estudo da composição do vapor que sai de cada prato.

Ha um caso que tem uma certa analogia com a rectificação e que tem o nome de *deflegmação;* neste caso, não há contacto directo entre o vapor e o líquido, mas simplesmente trocas de calor através de um feixe de tubos (fig. 19).

Consideremos cada um destes casos em particular.

b) *Vaporização integral (ou fechada)*

1) *Caso geral*

Consideremos um líquido de q componentes e sejam L_0 o número inicial de moléculas da mistura e L e V o número

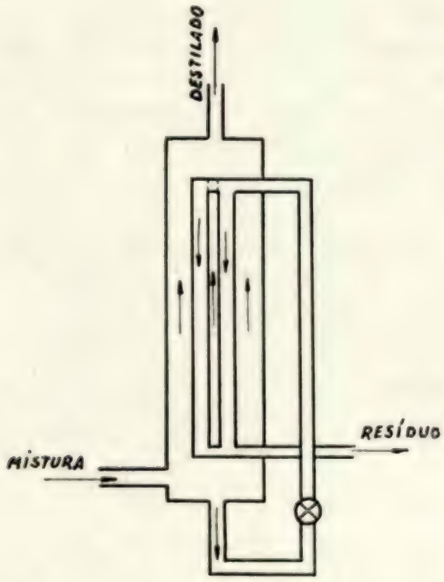


Fig. 19

de moléculas de líquido e de vapor num dado instante; sejam ainda x_{oi}, x_i e y_i as fracções do componente i respectivamente em cada uma das porções consideradas.

Ter-se-á

$$L_0 = L + V$$

$$L_0\, x_{0i} = L\, x_i + V\, y_i$$

$$y_i = K_i\, x_i$$

$$\Sigma\, y_i = 1$$

Representando por f a fracção vaporizada $\left(f = \frac{V}{L_0}\right)$ e resolvendo o sistema, será

$$L = L_0 - V$$

$$V\,(y_i - x_i) = L_0\, x_{0i} - L_0\, x_i$$

$$f = \frac{V}{L_0} = \frac{x_{0i} - x_i}{y_i - x_i} = \frac{x_{0i} - \frac{y_i}{K_i}}{y_i - \frac{y_i}{K_i}}$$

Desta equação, tira-se

$$y_i = \frac{K_i\, x_{0i}}{f\, K_i - (1 - f)}$$

Logo

$$\sum_i \frac{K_i\, x_{0i}}{f\, K_i + (1 - f)} = 1 \quad . \; . \; . \qquad (1)$$

No caso da condensação, o problema resolve-se anàlogamente, utilizando a relação

$$\sum_i x_i = 1$$

Representando por V_0 o volume inicial de vapor, por y_{oi} a fracção do componente i nesse vapor e por f′ a fracção condensada $\left(f = \frac{L}{V_0}\right)$, vem

$$V = L_0 - L$$

$$V_0\, y_{0i} = V_0\, y_i + L\,(x_i - y_i)$$

$$f' = \frac{L}{V_0} = \frac{y_{0i} - y_i}{x_i - y_i} = \frac{y_{0i} - K_i\, x_i}{x_i - K_i\, x_i}$$

Desta equação, tira-se

$$x_i = \frac{y_{0i}}{f' + K_i\,(1 - f)}$$

Portanto,

$$\sum_i \frac{y_{0i}}{f' + K_i\,(1 - f')} = 1 \quad . \; . \; . \qquad (2)$$

Se a lei de Raoult for válida será, como se viu,

$$K_i = \frac{p_i}{p}$$

As equações 1) e 2) dão os valores de f e de f′ mas a sua resolução tem de se efectuar por tentativas, arbitrando valores e verificando se satisfazem a essas equações.

2) *Misturas ternárias*

Neste caso, em geral, utiliza-se o método precedente; no entanto, se existir o diagrama ternário completo, é possível fazer o cálculo

gràficamente, embora, também, por tentativas. Consideremos o diagrama ternário do sistema $M_1 - M_2 - M_3$ (fig. 20) e seja P o ponto representativo de composição inicial.

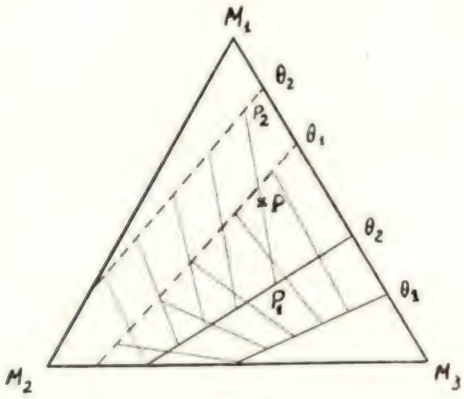


Fig. 20

Como se sabe do estudo dos diagramas ternários [1], as duas fases resultantes da destilação têm composições representadas por pontos P_1 e P_2 situados respectivamente numa isotérmica de líquido e de vapor e que são os extremos de uma conodal que passa por P; a posição desses pontos deve ser tal que $\frac{P\,P_1}{P_1\,P_2} = \frac{V}{L_0} = f$

O problema resume-se, portanto, a procurar, dentre todas as conodais que passam por P aquela que determina dois segmentos com a relação indicada; o método não tem vantagens porque é mais prático e mais rigoroso fazer as tentativas analìticamente.

3) *Misturas binárias*

Neste caso, pode utilizar-se um método gráfico desde que se conheça a curva de $y_1 = y_1(x_1)$ (fig. 5). Para isso, convém calcular a relação $\frac{V}{L}$, cujo valor é

$$\frac{V}{L} = \frac{V}{L_0 - V} = \frac{\frac{V}{L_0}}{1 - \frac{V}{L_0}} = \frac{x_{0i} - x_i}{y_i - x_{0i}}$$

No caso de uma mistura binária, o problema fica completamente definido pela relação

$$\frac{V}{L} = \frac{x_{01} - x_1}{y_1 - x_{01}} = \frac{x_0 - x}{y - x_0},$$

fazendo

$$x_{01} = x_0, \quad x_1 = x \text{ e } y_1 = y$$

Consideremos, então, a curva da figura 5 e tracemos a bissectriz dos eixos coordenados na qual se marca o ponto P de coordenadas (x_0, x_0) (fig. 21). Traçando por este ponto uma recta fazendo com o eixo Oy um ângulo $\beta = \text{arctg}\,\frac{V}{L}$, obtém-se um ponto Q por intersecção com a curva de equilíbrio, cujas coordenadas são (x, y), como se conclui do triângulo PRQ.

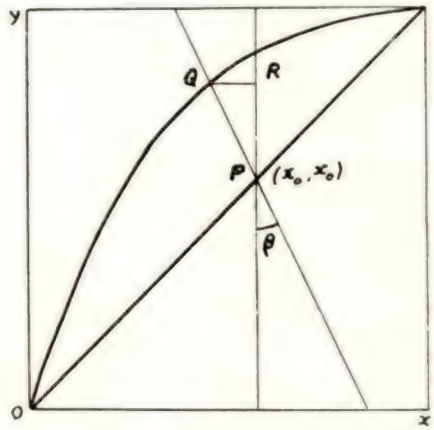


Fig. 21

4) *Trocas caloríficas*

Sejam H_0, H e H′ as entalpias da mistura inicial e das fases líquida e vapor que se obtêm; a variação de entalpia na vaporização será

$$\Delta H = (L\,H + V\,H') - L_0\,H_0 =$$
$$= V\left[\left(\frac{L}{V}\,H + H'\right) - \frac{L_0}{V}\,H_0\right] =$$
$$= V\left[\frac{L_0}{V}\,(H - H_0) + (H' - H)\right] =$$
$$= V\left[\frac{1}{f}\,(H - H_0) + (H' - H)\right]$$

No caso das misturas binárias, o valor de ΔH determina-se a partir do diagrama

(1) «Extracção», «Técnica» n.º 185, pág. 106 .

das entalpias em função da composição (fig. 22) [1].

Seja P o ponto representativo da composição inicial, e P_1 e P_2 os das composições finais (líquido e vapor); pelo que se sabe sobre diagramas, o ponto Q de intersecção da conodal $P_1 P_2$ com a vertical de P representa uma mistura tal que $\frac{P_1 P_2}{P_1 Q} = \frac{L_0}{V} = \frac{1}{f}$.

Unamos P_1 com P até encontrar a vertical de P_2 no ponto R e sejam S, T e U os pontos de encontro da vertical de P_2 com as horizontais de P_1 e P e Q; será

$$\frac{RS}{TS} = \frac{SP_2}{SU} = \frac{P_1 P_2}{P_1 Q} = \frac{1}{f}$$

Da figura tira-se

$$RP_2 = SP_2 + RS = (H' - H) + \frac{1}{f} TS = (H' - H) + \frac{1}{f}(H - H_0) = \frac{\Delta H}{V}$$

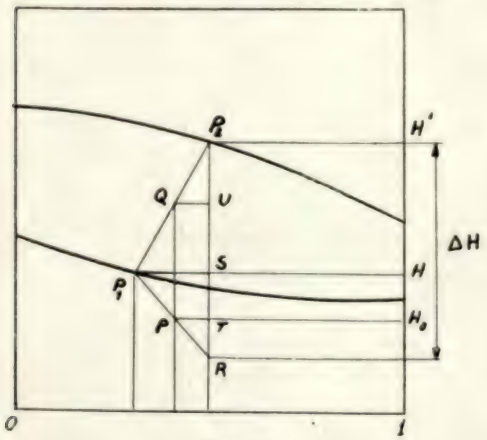


Fig. 22

A variação de entalpia é dada, portanto, pelo segmento RP_2 multiplicado pelo valor de V.

c) *Vaporização diferencial (ou aberta)*

1) *Caso geral*

Consideremos, de novo, a mistura utilizada para o estudo da vaporização integral e consideremos um componente qualquer dessa mistura indicado com o índice r e para o qual será $y_r = K_r x_r$.

Considerando o componente genérico designado pelo índice i, ter-se-á $y_i = K_i x_i$.

Dividindo ordenadamente as expressões anteriores, ter-se-á

$$\frac{y_i}{y_r} = \frac{K_i}{K_r} \cdot \frac{x_i}{x_r} = \alpha_{ir} \frac{x_i}{x_r} = \alpha_{ir} \frac{L_i}{L_r}$$

sendo L_i e L_r o número de moléculas dos dois componentes.

Num espaço de tempo infinitesimal formam-se dL_i e dL_r moléculas de vapor cujas fracções nos componentes i e r serão y_i e y_r em cada instante (visto que o vapor já formado vai sendo retirado à medida que se forma).

Será, portanto,

$$\frac{dL_i}{dL_r} = \alpha_{ir} \frac{L_i}{L_r}$$

O valor de α_{ir} pode ser considerado como constante, em primeira aproximação, desde que não haja grandes variações de temperatura; portanto, integrando, obtém-se

$$\log \frac{L_{fi}}{L_{oi}} = \alpha_{ir} \log \frac{L_{fr}}{L_{or}},$$

sendo L_{oi}, L_{or} e L_{fi}, L_{fr} o número de moléculas de cada um dos componentes no estado inicial e final; esta expressão pode escrever-se

$$\log \frac{L\, x_i}{L_0\, x_{oi}} = \alpha_{ir} \log \frac{L\, x_r}{L_0\, x_{or}}$$

Mas

$$L\, x_i = (L_0 - V)\, x_i = L_0 (1 - f)\, x_i \quad \text{e}$$
$$L\, x_r = L_0 (1 - f)\, x_r;$$

logo

$$\log \frac{(1 - f)\, x_i}{x_{oi}} = \alpha_{ir} \log \frac{(1 - f)\, x_r}{x_{or}}$$

Na expressão anterior, i toma todos os valores compreendidos entre 1 e q com excepção de r, o que corresponde a (q — 1) equações; acrescentando a equação $\Sigma x_i = 1$,

[1] As construções sobre o diagrama das entalpias são devidas a Ponchon e Savarit.

o sistema pode resolver-se, arbitrando x_r, calculando os diversos valores de x_i e verificando se satisfazem à equação $\Sigma x_i = 1$. Para calcular os valores de y_i no destilado obtido, recorre-se às equações:

$$f = \frac{x_{0i} - x_i}{y_i - x_i}$$

ou

$$y_i = \frac{x_{0i} - (1-f)\, x_i}{f}$$

Deve notar-se que os valores de α_{ir} têm de ser escolhidos a uma temperatura média entre os valores inicial e final.

No caso da condensação, as expressões que se obtêm são análogas:

$$\log \frac{(1-f')\, y_i}{y_{0i}} = \frac{1}{\alpha_{ir}} \log \frac{(1-f')\, y_r}{y_{0r}}$$

$$\Sigma\, y_i = 1$$

$$x_i = \frac{y_{0i} - (1-f')\, y_i}{f'}$$

Como caso particular, só nos interessa considerar os sistemas binários.

2) *Sistemas binários*

Neste caso, fazendo $i = 1$, $r = 2$ e $\alpha_{21} = \alpha$, vem:

$$\log \frac{(1-f)\, x_1}{x_{01}} = \alpha \log \frac{(1-f)\, x_2}{x_{02}}$$

$$x_1 + x_2 = 1$$

Fazendo $x_{01} = x_0$ e $x_1 = x$, vem:

$$\log \frac{(1-f)\, x}{x_0} = \alpha \log \frac{(1-f)\,(1-x)}{1-x_0}$$

Tirando o valor de $\log\,(1-f)$ ter-se-á:

$$(\alpha - 1) \log (1-f) = \log \frac{x}{x_0} - \alpha \log \frac{1-x}{1-x_0}$$

$$(\alpha - 1) \log (1-f) = \log \frac{x}{x_0} -$$

$$- \log \frac{1-x}{1-x_0} - (\alpha - 1) \log \frac{1-x}{1-x_0}$$

$$\log (1-f) = \frac{1}{\alpha - 1} \log \frac{x}{x_0} -$$

$$- \frac{1}{\alpha - 1} \log \frac{1-x}{1-x_0} - \log \frac{1-x}{1-x_0}$$

$$\log (1-f) = \frac{1}{\alpha - 1} \log \frac{x\,(1-x_0)}{x_0\,(1-x)} +$$

$$+ \log \frac{1-x_0}{1-x}$$

No caso da condensação, obtém-se anàlogamente:

$$\log (1-f) = - \frac{1}{\alpha - 1} \log \frac{y\,(1-y_0)}{y_0\,(1-y)} - \log \frac{y}{y_0}$$

Pode ainda utilizar-se um método gráfico que se indica a seguir.

Consideremos a destilação diferencial num dado instante; será:

$$L\,x = y\,dL + (x - dx)\,(L - dL)\,,$$

$$\frac{dL}{L} = \frac{dx}{y - x}\,,$$

a menos de um infinitésimo de 2.ª ordem.

Integrando, ter-se-á:

$$\log \frac{L}{L_0} = \int_{x_0}^{x} \frac{dx}{y - x}\,,$$

expressão que tem o nome de equação de Rayleigh.

O integral do 2.º membro tem de ser calculado gràficamente a partir da curva de equilíbrio $y = y\,(x)$; para efectuar esta integração, substituem-se as diferenciais por diferenças, ficando portanto:

$$L\,x = y\,\Delta L + (x - \Delta x)\,(L - \Delta L)$$

ou

$$\Delta x = \frac{\Delta L\,(y - x)}{L - \Delta L}$$

Tomando para y o valor médio entre y_0 e y e fazendo $x = x_0$, $\Delta x = x - x_0$, e $L = L_0$, vem:

$$x - x_0 = \frac{\Delta L \left(\frac{y_0 + y}{2} - x_0 \right)}{L_0 - \Delta L} =$$

$$= \frac{\Delta L}{L} \left(\frac{y_0 + y}{2} - x_0 \right) =$$

$$= \frac{\Delta L}{2 L} [y - (2 x_0 - y_0)] ,$$

notando que

$$L_0 - \Delta L = L$$

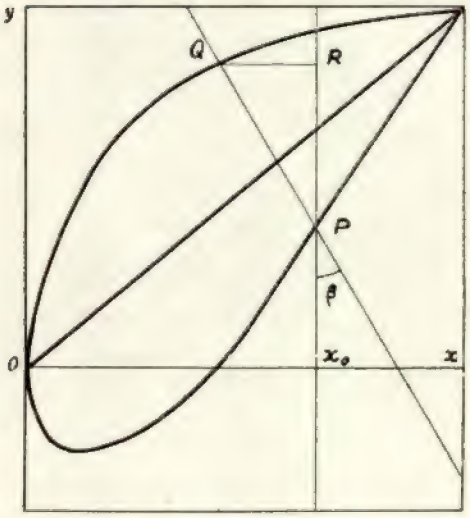


Fig. 23

Tracemos a curva cuja ordenada, para cada valor de x tem o valor $(2x - y)$; esta curva obtém-se marcando para baixo da bissectriz um valor igual ao da ordenada compreendida entre aquela e a curva de equilíbrio (fig. 23).

Traçando pelo ponto P de abscissa x_0 desta última curva uma recta fazendo um ângulo β com o eixo Oy, tal que

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta L}{2 L} = \frac{\Delta L}{(2 L_0 - \Delta L)} ,$$

obtém-se um ponto Q correspondente à composição final. A justificação da construção feita deduz-se do triângulo PRQ.

4) *Trocas caloríficas*

Neste caso, a expressão

$$\Delta H = V \left[\frac{1}{f} (H - H_0) + (H' - H) \right] ,$$

só é válida em cada instante, ou seja sob a forma diferencial

$$d (\Delta H) = d V \left[\frac{1}{f} d H + (H' - H) \right] ,$$

ou

$$\frac{d (\Delta H)}{d V} = \frac{1}{f} d H + (H' - H)$$

Mas

$$\frac{1}{f} = \frac{L_0}{V} = \frac{L}{d L} = \frac{y - x}{d x} ,$$

ou

$$\frac{d (\Delta H)}{d V} = (y - x) \frac{d H}{d x} + (H' - H)$$

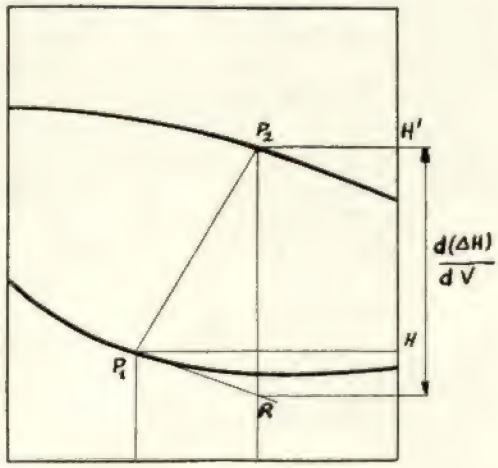


Fig. 24

Nestas condições, a construção difere da da figura 22 porque a recta $P_1 R$ é tangente à curva H (x), às temperaturas de ebulição, visto que o seu coeficiente angular é $\frac{d H}{d x}$ (fig. 24). Como esta construção só é válida em cada instante, o valor de ΔH será obtido pelo integral

$$\Delta H = \int_0^V \frac{d (\Delta H)}{d V} d V .$$

Este integral tem de ser calculado gràficamente, o que torna o cálculo incómodo; por isso, na prática, utiliza-se, em geral, a construção da destilação integral, para as composições médias do destilado e do resíduo.

d) *Rectificação*

1) *Generalidades*

I) *Expressões gerais*

O estudo da rectificação baseia-se na hipótese de que, em cada prato se atinge o equilíbrio entre as fases líquida e vapor (prato ideal) e é conduzido exprimindo que há conservação das massas (do conjunto e de cada componente) e das entalpias. Representando por V, L, D e W os números

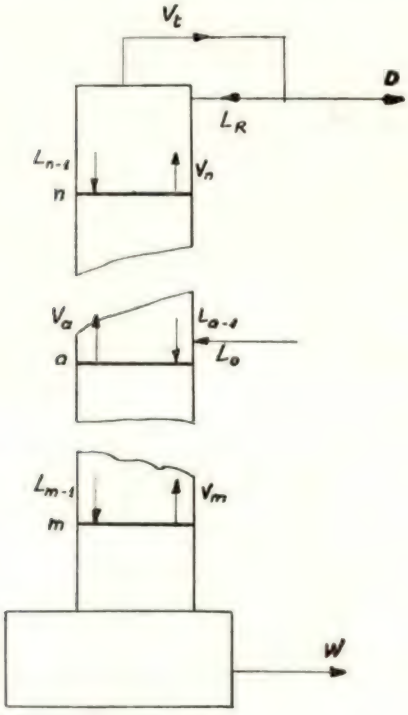


Fig. 25

de moléculas respectivamente de vapor, líquido [1], destilado e resíduo, e numerando as placas a partir de cima podem estabelecer-se as várias equações para o componente i, utilizando as notações da figura 25.

[1] O número de moléculas de líquido representa-se, às vezes, por O (overflow).

α — Coluna de rectificação

$$V_n = L_{n-1} + D$$

$$V_n\, y_{ni} = L_{n-1}\, x_{(n-1)i} + D\, x_{Di}$$

$$V_n\, H'_n - L_{n-1}\, H_{n-1} = V_t\, H'_t - L_R\, H_R\,,$$

sendo x_{Di} a composição do componente i no destilado.

Eliminando V_n e L_{n-1} entre estas equações, ter-se-á

$$V_n = \frac{V_t\, H'_t - L_R\, H_R - D\, H_{n-1}}{H'_n - H_{n-1}} = \frac{D\,(A - H_{n-1})}{H'_n - H_{n-1}}$$

$$L_{n-1} = \frac{V_t\, H'_t - L_R\, H_R - D\, H'_n}{H'_n - H_{n-1}} = \frac{D\,(A - H'_n)}{H'_n - H_{n-1}}\,,$$

fazendo

$$A = \frac{V_t\, H'_t}{D} - \frac{L_R\, H_R}{D} = \left(\frac{L_R}{D} + 1\right) H'_t - \frac{L_R}{D}\, H_R\,,$$

visto que

$$V_t = L_R + D$$

Mas $\frac{L_R}{D}$ é a relação de refluxo R [1]; portanto

$$A = (R + 1)\, H'_t - R\, H_R$$

Será finalmente

$$y_{ni} = \frac{L_{n-1}}{V_n}\, x_{(n-1)i} + \frac{D}{V_n}\, x_{Di}$$

ou

$$y_{ni} = \frac{A - H'_n}{A - H_{n-1}}\, x_{(n-1)i} + \frac{H'_n - H_{n-1}}{A - H_{n-1}}\, x_{Di} \quad . \; . \; . \qquad (1)$$

[1] A fixação do valor de R será estudada posteriormente; na prática, a ordem de grandeza varia entre 2 a 10.

Esta equação pode escrever-se, ainda, do seguinte modo:

$$\frac{x_{D_i} - x_{(n-1)i}}{A - H_{n-1}} = \frac{x_{D_i} - y_{ni}}{A - H'_n}$$

Esta equação exprime a semelhança de dois triângulos rectângulos com um ponto comum, de coordenadas (x_{Di}, A) e que se representam na figura 26.

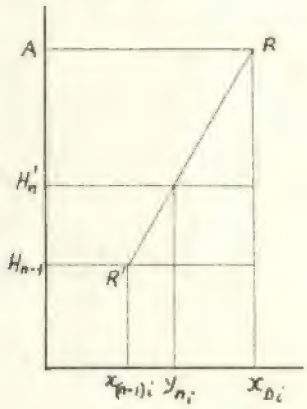


Fig. 26

β — *Coluna de esgotamento*

$$L_{m-1} = V_m + W$$

$$L_{m-1}\, x_{(m-1)i} = V_m\, y_{m_i} + W\, x_{w_i}$$

$$L_{m-1}\, H_{m-1} - V_m\, H'_m + Q = W\, H_w\,,$$

sendo Q a quantidade de valor fornecido e x_{wi} a composição do componente i no resíduo.

Eliminando V_m e L_m, obtém-se como no caso anterior

$$V_m = \frac{Q - W\,(H_w - H_{m-1})}{H'_m - H_{m-1}} = \frac{W\,(H_{m-1} - B)}{H'_m - H_{m-1}}$$

$$L_{m-1} = \frac{Q - W\,(H_w - H'_m)}{H'_m - H_{m-1}} = \frac{W\,(H'_m - B)}{H'_m - H_{m-1}}\,,$$

fazendo

$$B = H_w - \frac{Q}{W}$$

Finalmente, será

$$y_{m_i} = \frac{H'_m - B}{H_{m-1} - B}\, x_{(m-1)i} - \frac{H'_m - H_{m-1}}{H_{m-1} - B}\, x_{w_i} \quad . \; . \; . \qquad (2)$$

ou

$$\frac{y_{m_i} - x_{w_i}}{H'_m - B} = \frac{x_{(m-1)i} - x_{w_i}}{H_{m-1} - B}$$

Esta equação exprime, também, a semelhança de dois triângulos com o ponto comum (x_{wi}, B), os quais se indicam na fig. 27.

As equações 1) e 2) são designadas por rectas operatórias.

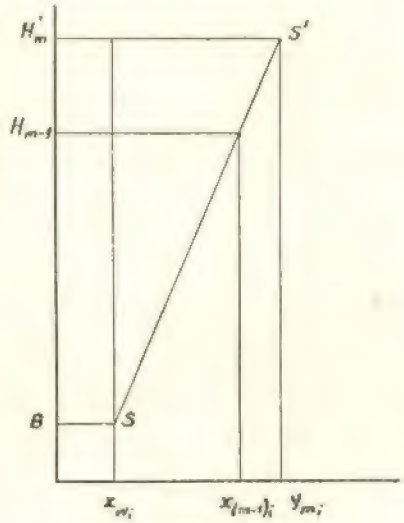


Fig. 27

II) *Composição do destilado e do resíduo*

Sejam L_{oi}, D_i e W_i os números de moléculas de cada componente respectivamente na mistura inicial, no destilado e no resíduo; será

$$\begin{cases} \sum_i D_i = D \\ \sum_i W_i = W \\ D_i + W_i = L_{oi} \quad (i = 1, 2 \ldots q) \end{cases}$$

Este sistema é constituído por $(q+2)$ equações a $(2q+2)$ incógnitas ($D_1, D_2, \ldots D_q, W_1, W_2 \ldots W_q, D, W$) que se pode explicitar do seguinte modo:

$$\begin{cases} D_1 \qquad\qquad +W_1 \qquad\qquad = L_{o1} \\ \quad D_2 \qquad\qquad +W_2 \qquad\qquad = L_{o2} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \qquad\qquad Dq \qquad\qquad +Wq \quad = L_{oq} \\ D_1 + D_2 + \ldots + Dq \qquad\qquad -D \quad = 0 \\ \qquad\qquad W_1 + W_2 + \ldots + Wq - W \quad = 0 \end{cases}$$

Estas equações não são todas distintas porque o determinante do sistema é de ordem $(q+1)$ e não $(q+2)$; com efeito, considerando as $(q+1)$ primeiras linhas e colunas, ter-se-á, efectuando o desenvolvimento segundo os elementos da última coluna (e, depois, segundo os elementos da primeira coluna):

Para que o sistema, seja compatível, o eliminante tem de ser nulo, isto é,

$$\begin{vmatrix} 1\,0 \ldots 0\,1 & L_{o1} \\ 0\,1 \ldots 0\,0 & L_{o2} - W_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots \\ 0\,0 \ldots 1\,0 & L_{oq} - W_q \\ 1\,1 \ldots 1\,0 & D \\ 0\,0 \ldots 0\,1 & W - W_2 - W_3 - \ldots - W_q \end{vmatrix} = 0$$

Desenvolvendo segundo os elementos da última coluna, ter-se-á

$$L_{o1} + (L_{o2} - W_2) + \ldots + (L_{oq} - W_q) - D - (W - W_2 - \ldots - W_q) = 0$$

ou

$$L_{o1} + L_{o2} + \ldots + L_{oq} - D - W = 0\,,$$

ou ainda

$$D + W = L_o\,,$$

$$\begin{vmatrix} 1\,0 \ldots 0\,0\,1 \\ 0\,1 \ldots 0\,0\,0 \\ \ldots\ldots\ldots \\ 0\,0 \ldots 1\,0\,0 \\ 0\,0 \ldots 0\,1\,0 \\ 1\,1 \ldots 1\,1\,0 \end{vmatrix} = (-1)^{q+2} \begin{vmatrix} 0\,1 \ldots 0\,0 \\ \ldots\ldots\ldots \\ 0\,0 \ldots 1\,0 \\ 0\,0 \ldots 0\,1 \\ 1\,1 \ldots 1\,1 \end{vmatrix} = (-1)^{q+2}(-1)^{q+1} \begin{vmatrix} 1 \ldots 0\,0 \\ \ldots\ldots \\ 0 \ldots 1\,0 \\ 0 \ldots 0\,1 \end{vmatrix} = (-1)^{2q+3} = -1$$

Orlando o determinante principal com os elementos da última linha e da coluna seguinte, ter-se-á substituindo todas as colunas pela sua soma com a primeira:

$$\begin{vmatrix} 1\,0 \ldots 0\,0\,1\,0 \\ 0\,1 \ldots 0\,0\,0\,1 \\ \ldots\ldots\ldots \\ 0\,0 \ldots 1\,0\,0\,0 \\ 0\,0 \ldots 0\,1\,0\,0 \\ 1\,1 \ldots 1\,1\,0\,0 \\ 0\,0 \ldots 0\,0\,1\,1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1\,1 \ldots 1\,1\,1\,1 \\ 0\,1 \ldots 0\,0\,0\,1 \\ \ldots\ldots\ldots \\ 0\,0 \ldots 1\,0\,0\,0 \\ 0\,0 \ldots 0\,1\,0\,0 \\ 1\,1 \ldots 1\,1\,0\,0 \\ 1\,1 \ldots 1\,1\,1\,1 \end{vmatrix} = 0$$

Restam, pois $(q+1)$ variáveis independentes e, portanto o sistema pode escrever-se

$$\begin{cases} D_1 \qquad\qquad + W_1 = L_{o1} \\ \quad D_2 \qquad\qquad = L_{o2} - W_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \qquad\qquad Dq \qquad = L_{oq} - W_q \\ D_1 + D_2 + \ldots + Dq \qquad = D \end{cases}$$

conclusão que é lógica e que representa a única condição a satisfazer quando se arbitrarem os valores das variáveis independentes ($W_2, W_3 \ldots W_q, D, W$).

A resolução do sistema dá

$$D_1 = D - \sum_{i=2}^{q} (L_{oi} - W_i)$$

$$D_2 = L_{o2} - W_2$$

$$\ldots\ldots\ldots$$

$$D_q = L_{oq} - W_q$$

$$W_1 = \sum_{i=1}^{q} L_{oi} - \sum_{i=2}^{q} W_i - D =$$

$$= L_o - D - \sum_{i=2}^{q} W_i = W - \sum_{i=2}^{q} W_i$$

Sob o ponto de vista prático só interessam evidentemente as soluções positivas.

As composições do destilado e do resíduo no componente i serão

$$x_{Di} = \frac{D_i}{D}$$

$$x_{Wi} = \frac{W_i}{W}$$

III) *Composição nos diferentes pratos*

Consideremos o primeiro prato e apliquemos as igualdades da conservação das massas (fig. 28)

Será

$$V_1 = V_t = L_R + D$$

$$V_t\, y_{ti} = L_R\, x_{Ri} + D\, x_{Di}$$

Mas

$$x_{Ri} = x_{Di};$$

portanto

$$y_{ti} = y_{1i} = \frac{L_R + D}{V_1}\, x_{Di} = x_{Di}$$

A esta composição de vapor corresponde um ponto P'_1, uma temperatura de con-

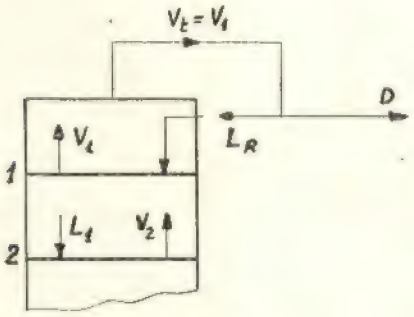


Fig. 28

densação θ_1 e uma composição de líquido definida por um ponto P_1 situado na extremidade da conodal $P'_1\, P_1$; mas como para $q > 3$ as conodais não têm significado geométrico, recorre-se à relação

$$x_{1i} = \frac{y_{1i}}{K_{1i}} = \frac{p}{p_{1i}}\, y_i\ ,$$

sendo k_{1i} e p_{1i} os valores à temperatura θ_1.

Em geral, o valor de θ_1 não é conhecido; por isso arbitram-se valores até ser satisfeita à relação

$$\sum_i x_{1i} = \sum_i \frac{y_{1i}}{K_i} = \sum_i \frac{p}{p_i}\, y_{1i}$$

A partir de x_{1i}, calcula-se y_{2i} a partir de recta operatória

$$y_{2i} = \frac{A - H'_2}{A - H_1}\, x_{1i} + \frac{H'_2 - H_1}{A - H_1}\, x_{Di}$$

Deve notar-se que o valor de H'_2 não é conhecido e, portanto, tem de ser arbitrado verificando-se, depois, se o valor arbitrado corresponde à composição achada.

À composição definida por y_{2i} corresponde um ponto P'_2, a partir do qual se determina P_2 traçando a conodal $P'_2\, P_2$ ou pelas relações.

$$x_{2i} = \frac{y_{2i}}{K_{2i}} = \frac{p}{p_{2i}}\, y_{2i}\ ,$$

sendo, k_{2i} e p_{2i} os valores a uma nova temperatura θ_2.

O valor de y_{3i} será

$$y_{3i} = \frac{A - H'_3}{A - H_2}\, x_{2i} + \frac{H'_3 - H_2}{A - H_2}\, x_{Di}$$

O raciocínio prossegue até ao prato de ordem $(a - 1)$ sendo a a ordem do prato de alimentação; para este prato será

$$V_a = \frac{D\,(A - H_{a-1})}{H'_a - H_{a-1}}\ ,$$

$$L_{a-1} = \frac{D\,(A - H'_a)}{H'_a - H_{a-1}}\ ,$$

e

$$y_{ai} = \frac{A - H'_a}{A - H_{a-1}}\, x_{(a-1)i} + \frac{H'_a - H_{a-1}}{A - H_{a-1}}\, x_{Di}$$

ou

$$\frac{x_{Di} - x_{(a-1)i}}{A - H_{a-1}} = \frac{x_{Di} - y_{ai}}{A - H'_a}$$

No prato de alimentação há que contar com a mistura inicial que é introduzida e, portanto, as expressões da conservação das massas e das entalpias passam a ter os va-

lores correspondentes à coluna de esgotamento.

Para determinar a posição do prato de alimentação, é necessário estudar a posição relativa das rectas RR′, (fig. 26) e das conodais, visto que, pelo processo anteriormente descrito se obtêm duas séries de valores x_{1i}, x_{2i} . . ., y_{1i} y_{2i} . . . que tendem para dois limites em equilíbrio entre si e que correspondem ao caso em que uma recta operatória coincide com uma conodal. Este limite só se atingirá, no entanto, se o número de pratos for infinito e, por isso, na vizinhança desse limite, a variação de concentração de prato para prato variará muito pouco, pelo que a rectificação deixa de ter interesse.

Este raciocínio é igualmente válido se se tratar da coluna de esgotamento obtendo-se outra conodal limite coincidente com uma recta SS′, (fig. 27); o prato de alimentação deverá estar situado portanto, numa posição tal que as rectas RR′ e SS′ correspondentes estejam situadas entre as duas conodais limites.

Sendo assim, a separação entre as duas colunas, obtém-se, teòricamente, quando RR′ e SS′ coincidirem, o que corresponde ao segmento RS (fig. 29)

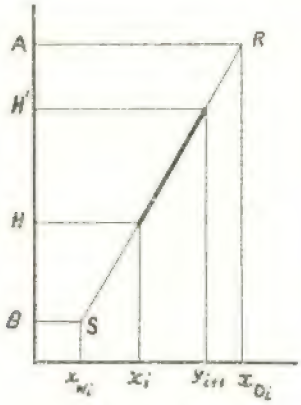


Fig. 29

Deve notar-se, no entanto, que o ponto S não se pode marcar, porque o valor de Q que aparece na expressão de B, não é conhecido. Para resolver o problema é necessário analisar melhor o que se passa no prato de alimentação (fig. 30).

Representando por b a placa de ordem (a + 1), ter-se-á, para a placa a ,

$$L_{b-2} = V_{b-1} + W = V_a + W = L_{a-1} + D + W = \\ = L_{a-1} + L_o \text{ (1)}$$

Mas, pela expressão de L na coluna de esgotamento (pág. 831), ter-se-á

$$L_{b-2} = \frac{W\,(H'_{b-1} - B)}{H'_{b-1} - H_{b-2}} = \frac{W\,(H'_a - B)}{H'_a - H_{b-2}}$$

Por outro lado, a entalpia H_{b-2} determina-se a partir da composição da mistura

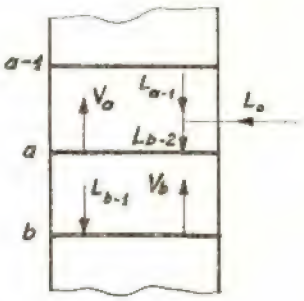


Fig. 30

que entra no prato a, ou seja, aproximadamente

$$H_{b-2} = \frac{L_{a-1}\,H_{a-1} + L_o\,H_o}{L_{b-2}}$$

Substituindo L_{b-2} e H_{b-2} pelos seus valores, ter-se-á

$$(L_{a-1} + L_o)\left(H'_a - \frac{L_{a-1}\,H_{a-1} + L_o\,H_o}{L_{a-1} + L_o}\right) = \\ = W\,(H'_a - B)$$

$$L_{a-1}\,(H'_a - H_{a-1}) + L_o\,(H'_a - H_o) = W\,(H'_a - B)$$

Atendendo a que

$$L_{a-1} = \frac{D\,(A - H'_a)}{H'_a - H_{a-1}}\,,$$

vem

$$D\,(A - H'_a) + L_o\,(H'_a - H_o) = W\,(H'_a - B)$$

$$(L_o - D - W)\,H'_a = L_o\,H_o - DA - W\,B$$

(1) O líquido inicial pode já estar parcial ou totalmente vaporizado.

Como

$$L_o = D + W,$$

vem

$$L_o H_o = DA + WB = D(A - B) + BL_o,$$

e

$$\frac{D}{L_o} = \frac{H_o - B}{A - B}$$

Por outro lado, como é

$$L_o x_{oi} = Dx_{Di} + Wx_{Wi} = D(x_{Di} - x_{Wi}) + L_o x_{Wi},$$

vem, finalmente,

$$\frac{D}{L_o} = \frac{x_{oi} - x_{Wi}}{x_{Di} - x_{Wi}} = \frac{H_o - B}{A - B}$$

Esta expressão exprime a semelhança dos dois triângulos rectângulos indicados na figura 31.

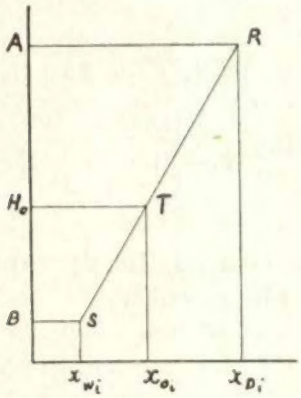


Fig. 31

Desta figura, conclui-se que o ponto S se determina unindo R com T, sendo T o ponto de coordenadas (x_{oi}, H_o).

Analìticamente, o valor de B será

$$B = \frac{H_o L_o - DA}{L_o - D} = \frac{H_o L_o - DA}{W}$$

Conhecido o segmento RS, determina-se o valor de a, a que corresponde uma composição de vapor definida por $y_{ai} = y_{(b-1)i}$ que tem de estar em equilíbrio com o líquido de composição $x_{(b-1)i}$, fixada a partir de uma conodal; a partir de $x_{(b-1)i}$, calcula-se y_{bi} pela recta operatória

$$y_{bi} = \frac{H'_b - B}{H_{b-1} - B} x_{(b-1)i} - \frac{H'_b - H_{b-1}}{H_{b-1} - B} x_{Wi}$$

De um modo geral, faz-se o cálculo de y_{mi} a partir de $x_{(m-1)i}$, pelas expressões da coluna de esgotamento. O raciocínio prossegue até ao último prato (que designaremos pelo índice u) para o qual

$$L_{u-1} = V_u + W \qquad \text{(fig. 32)}$$

A composição de V_u determina-se a partir da recta operatória; utilizando as rela-

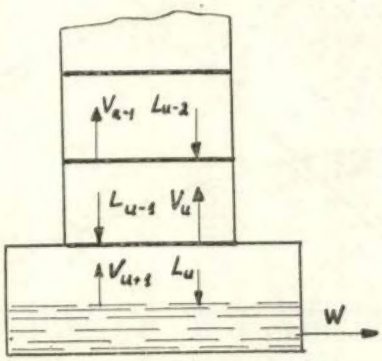


Fig. 32

ções de equilíbrio para determinar a composição de L_u, pode escrever-se a última relação

$$L_u = V_{u+1} + W$$

Mas, a composição à saída do último prato deve ser a mesma do resíduo W e, portanto, a composição do vapor V_{u+1} será também a mesma, ou seja

$$y_{(u+1)i} = x_{Wi}$$

Em geral, não se consegue obter esta composição rigorosamente, visto que a composição em cada prato não varia de uma maneira contínua; o problema considera-se resolvido quando se exceder a composição desejada. Aliás, este critério já é conhecido do estudo da Extracção [1].

---

[1] Extracção, «Técnica», n.º 185, pág. 1073,

VI) *Misturas binárias*

α — Caso geral

Neste caso, o problema da determinação da composição nos diferentes pratos pode resolver-se gràficamente, a partir do diagrama das entalpias em função da composição (fig. 33).

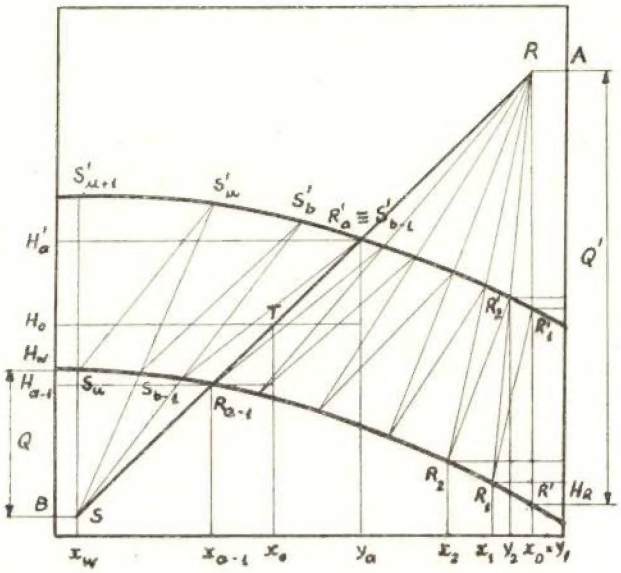


Fig. 33

Consideremos uma mistura binária e façamos, como habitualmente, $x_1 = x$ e $y_1 = y$.

Como vimos, as rectas operatórias passam todas pelo ponto R de coordenadas (x_D, A); no caso particular do primeiro prato, o vapor tem uma composição x_D e, portanto, a recta correspondente é a recta R R' a qual intersecta a curva das entalpias do vapor à temperatura de condensação no ponto R'_1. Ao ponto R'_1 da fase vapor corresponde um ponto R_1 da fase líquida, extremo da conodal R'_1, R_2; a recta R R_1 determina o ponto R'_2 da fase vapor e a conodal R'_2 R_2 o ponto R_2 da fase líquida.

A construção prossegue até ao segmento R S sendo S determinado a partir do ponto de coordenadas (x_o, H) como vimos. Atingida a composição $y_a = y_{b-1}$ determina-se x_{b-1} pela conodal S'_{b-1} S_{b-1} e y_b pela recta SS_{b-1}; a construção termina quando se atingir a composição final.

Na prática, não se atinge rigorosamente a composição x_w nem a recta RS coincide com uma conodal. Para atingir o valor de x_w com a maior exactidão possível pode fazer-se variar a relação de refluxo; a posição das linhas RS não altera o raciocínio feito porque, uma vez traçada, divide o plano em duas zonas em cada uma das quais se efectua a construção como foi indicado.

β — Trocas caloríficas

Da figura 33 conclui-se imediatamente que a quantidade de calor Q fornecido por molécula de resíduo é dada pelo segmento BH_w.

Por outro lado o segmento AH_R dá a quantidade de calor Q' cedida no condensador por molécula de destilado; com efeito,

$$AH_R = A - H_R = \frac{L_R}{D}\left(H'_t - H_R\right) + \left(H'_t - H_R\right) = \left(\frac{L_R}{D} + 1\right)\left(H'_t - H_R\right) = \frac{L_R + D}{D}\left(H'_t - H_R\right) = \frac{V_t}{D}\left(H'_t - H_R\right)$$

Como as composições do vapor V_t e do refluxo L_R são iguais, V_t $(H'_t - H_R)$ é o calor total cedido pelo vapor; portanto o segmento AH_R é calor cedido por molécula.

γ — Determinação do número de pratos a partir da curva de equilíbrio

O problema pode resolver-se duma maneira diferente, que dispensa o conhecimento das conodais.

Para isso, traçam-se várias rectas operatórias no diagrama composição-entalpia, determinando-se os valores correspondente de y e x; representando gràficamente y em função de x, obtêm-se duas curvas correspondentes a cada uma das colunas de destilação. Cada uma destas curvas tem o nome de curva operatória.

Traçando a curva de equilíbrio na mesma escala obtém-se as 3 curvas da figura 34.

A curva operatória da coluna de rectificação passa, como vimos, pelo ponto de coordenadas (x_D, $y_1 = x_D$), situado, portanto, na bissectriz dos eixos coordenados. Traçando por este ponto uma horizontal até encontrar a curva de equilíbrio, obtém-se o ponto de coordenadas (x_1, y_1); a vertical passando por este ponto encontra a curva operatória

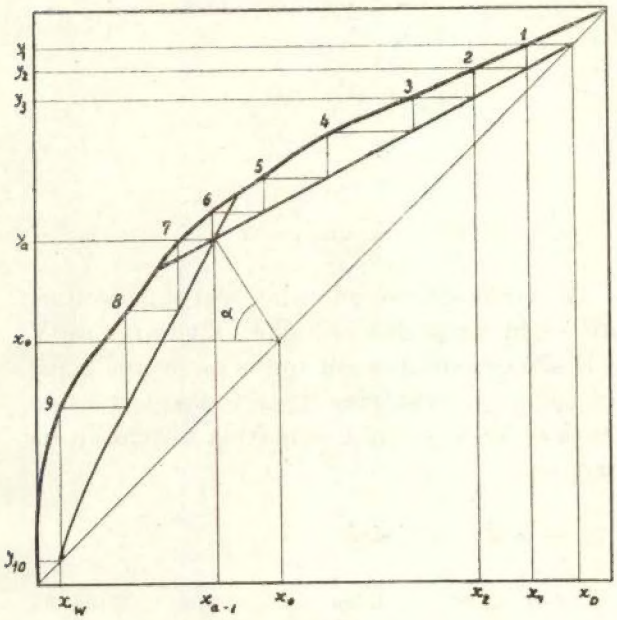


Fig. 34

no ponto de coordenadas (x_1, y_2) e a horizontal deste ponto permite determinar (x_2, y_2). A construção prossegue até ao ponto de encontro das duas curvas operatórias (que corresponde ao segmento RS), continuando de modo análogo em relação à curva operatória da coluna de esgotamento; esta passa, como vimos também, pelo ponto de coordenadas (x_w, $y_{u+1} = x_w$).

O ponto de encontro das curvas operatórias determina-se a partir da figura 33; com efeito, ter-se-á

$$\frac{y_a - x_0}{x_0 - x_{a-1}} = \frac{H'_a - H_0}{H_0 - H_{a-1}}$$

$$\frac{y_a - x_0}{H'_a - H_0} = -\frac{x_{a-1} - x_0}{H_0 - H_{a-1}}$$

O ponto de coordenadas (x_{a-1}, y_a) obtém-se, portanto, traçando pelo ponto (x_0, x_0) uma recta de coeficiente angular

$$m = -\frac{H'_a - H_0}{H_0 - H_{a-1}}$$

até encontrar a curva operatória da coluna de rectificação, a qual faz um ângulo α com a parte negativa do eixo das abscissas.

O valor de m depende dos valores relativos de H'_a, H_{a-1} e H_0; em particular $m = o$, se $H'_a = H_0$ (caso em que a mistura inicial é, aproximadamente, um vapor saturado) e $m = \infty$, se $H_0 = H_{a-1}$ (caso em que a mistura inicial é, aproximadamente, um líquido à temperatura de ebulição).

Esta construção é conhecida sob a designação de método de Mc Cabe e Thiele.

A figura 34 corresponde ao mesmo caso da figura 33.

V) *Casos usuais*

α — Expressão geral

O estudo feito do caso geral da rectificação das misturas de vários componentes conduz a cálculos muito trabalhosos e impossíveis de fazer, na maioria dos casos, devido à falta de dados sobre os valores das entalpias. Por isso, na prática, os cálculos costumam ser alterados desprezando os calores sensíveis em face dos calores latentes; nestas condições, as entalpias na fase vapor obtêm-se, aproximadamente, adicionando os calores latentes de vaporização às entalpias na fase líquida, isto é,

$$H'_p = H_p + \lambda_p$$

Por outro lado, desde que seja válida a lei de Trouton [1], os calores latentes moleculares de vaporisação são dados pela expressão

$$\lambda = 21\ T_e,$$

sendo T_e a temperatura de ebulição. Se T_e

[1] Ver Secagem, «Técnica», n.º 00, pág. 000.

não variar muito de prato para prato, λ_p pode considerar-se aproximadamente constante, para todos os pratos.

Entrando com as simplificações introduzidas, ter-se-á, para a coluna de rectificação:

$$V_n = \frac{D\,(A - H_{n-1})}{H'_n - H_{n-1}} =$$

$$= \frac{L_R\,(H'_t - H_R) + D\,(H'_t - H_{n-1})}{H'_n - H_{n-1}} =$$

$$= \frac{\lambda\,L_R + \lambda\,D}{\lambda} = L_R + D$$

$$L_{n-1} = \frac{D\,(A - H'_n)}{H'_n - H_{n-1}} =$$

$$= \frac{L_R\,(H'_t - H_R) + D\,(H'_t - H'_n)}{H'_n - H_n} =$$

$$= \frac{\lambda\,L_R}{\lambda} = L_R$$

$$y_{n\,i} = \frac{A - H'_n}{A - H_{n-1}}\,x_{(n-1)\,i} +$$

$$+ \frac{H'_n - H_{n-1}}{A - H_{n-1}} = \frac{L_R}{L_R + D}\,x_{(n-1)\,i} +$$

$$+ \frac{D}{L_R + D}\,x_{Di}$$

Para a coluna de esgotamento, será

$$B = \frac{H_o\,L_o - D\,A}{W} =$$

$$= \frac{L_o\,H_o - L_R\,(H'_t - H_R) - D\,H'_t}{W}$$

$$V_m = \frac{W\,(H_{m-1} - B)}{H'_m - H_{m-1}} =$$

$$= \frac{W\,H_{m-1} - L_o\,H_o + L_R\,(H'_t - H_R) + D H'_t}{H'_m - H_{m-1}} =$$

$$= \frac{W H_{m-1} - L_o\,H_o + L_R\,(H'_t - H_R) + L_o\,H'_t - W H'_t}{H'_m - H_{m-1}} =$$

$$= \frac{L_o\,(H'_t - H_o) + L_R\,(H'_t - H_R) - W\,(H'_t - H_{m-1})}{H'_m - H_{m-1}}$$

$$= \frac{\lambda_o\,L_o + \lambda\,L_R - \lambda W}{\lambda} = L_R + q\,L_o - W,$$

fazendo $q = \frac{\lambda_o}{\lambda}$ (λ_o representa a quantidade de calor necessária para vaporizar uma molécula da mistura inicial).

Do mesmo modo,

$$L_{m-1} = \frac{W\,(H'_m - B)}{H'_m - H_{m-1}} =$$

$$= \frac{L_R\,(H'_t - H_R) + L_o\,(H'_t - H_o)}{H'_m - H_{m-1}} = L_R + qL_o$$

$$y_{mi} = \frac{L_R + qL_o - W}{L_R + qL_o}\,x_{(m-1)\,i} -$$

$$- \frac{W}{L_R + qL_o - W}\,x^{w}_{i}$$

A partir destes cálculos, verifica-se que, em cada uma das colunas os valores de V e L são constantes em todos os pratos e que as rectas operatórias têm todas o mesmo coeficiente angular e a mesma ordenada na origem.

β — Misturas binárias

Neste caso, as duas curvas operatórias da figura 34 correspondem às duas rectas operatórias que se definiram para cada uma das colunas e cujas equações são

$$y_n = \frac{L_R}{L_R + D}\,x_{(n-1)} + \frac{D}{L_R + D}\,x_{Di}$$

$$y_m = \frac{L_R + qL_o}{L_R + qL_o - W}\,x_{(m-1)} +$$

$$+ \frac{W}{L_R + qL_o - W}\,x_{wi}$$

Na figura 35 faz-se a construção respectiva.

Neste caso, o ponto de encontro das rectas operatórias determina-se como se indicou anteriormente, a partir do ponto (x_o, y_o) e da recta

$$\frac{y_a - x_o}{H'_a - H_o} = -\frac{x_{a-1} - x_o}{H_o - H_{a-1}}.$$

Esta equação toma outro aspecto entrando em linha de conta com as simplifica-